

UNIVERSITÉ DE PARIS -- FACULTE DES SCIENCES

SÉRIE A. N° 1688

N° D'ORDRE : 2554

THÈSES

PRÉSENTÉES

À LA FACULTÉ DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

KARNIK ALEXANIAN

PROFESSEUR À L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DU PÉTROLE
ET DES COMBUSTIBLES LIQUIDES

1^{re} THÈSE : Étude magnétique en Alsace. — Interprétation
géologique des mesures.

2^e THÈSE : Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 13 AVR 1937 1937 devant la Commission d'examen :

MM. CH. MAURAIN ... *Président*,
JACOB } *Examineurs.*
LABROUSTE ... }



PARIS

IMPRIMERIE NATIONALE

1937

UNIVERSITÉ DE PARIS — FACULTÉ DES SCIENCES

SÉRIE A, N° 1688

N° D'ORDRE : 2554

THÈSES

PRÉSENTÉES

À LA FACULTÉ DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

KARNIK ALEXANIAN

PROFESSEUR À L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DU PÉTROLE
ET DES COMBUSTIBLES LIQUIDES

1^{re} THÈSE : Étude magnétique en Alsace. — Interprétation
géologique des mesures.

2^e THÈSE : Propositions données par la Faculté

13 AVR 1937

Soutenues le 1937 devant la Commission d'examen

MM. CH. MAURAIN.... *Président;*

JACOB..... } *Examineurs.*
LABROUSTE..... }

PARIS

IMPRIMERIE NATIONALE

1937

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS.

MM.

Doyen honoraire..... M. MOLLIARD.

Doyen..... C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du Globe.

Professeurs honoraires..... { H. LEBESQUE, A. FERNBACH, A. LEDUC,
ÉMILE PICARD, RÉMY PERRIER, LÉON BRILLOUIN,
GOURSAT, GUILLET, PÉCHARD, FREUNDLER,
AUGER, BLAISE, DANGEARD, JANET,
LESPIEAU, MARCHIS, VESSIOT, PORTIER.

PROFESSEURS.

G. BERTRAND....T	Chimie biologique.	L. JOLEAUD.....	Paléontologie.
M. GAULLERY....T	Zoologie (Évolution des êtres organisés).	ROBERT-LÉVY....	Zoologie.
G. URBAIN.....T	Chimie générale.	F. PICARD.....	Zoologie (Évolution des êtres organisés).
ÉMILE BOREL....T	Calcul des probabilités et physique mathématique.	HENRI VILLAT...T	Mécanique des fluides et applications.
JEAN PERRIN....T	Chimie physique.	CH. JACOB.....T	Géologie.
H. ABRAHAM....T	Physique.	P. PASCAL.....T	Chimie minérale.
E. CARTAN.....T	Géométrie supérieure.	M. FRÉCHET....T	Calcul différentiel et calcul intégral.
M. MOLLIARD....T	Physiologie végétale.	E. ESCLANGON...T	Astronomie.
L. LAPICQUE....T	Physiologie générale.	M ^{me} RAMART-LUCAS.T	Chimie organique.
A. COTTON.....T	Recherches physiques.	H. BEGHIN.....T	Mécanique physique et expérimentale.
J. DRACH.....T	Analyse supérieure et al- gèbre supérieure.	FOCH.....	Mécanique expérimentale des fluides.
CHARLES FABRY...T	Enseignement de phy- sique.	PAUTHENIER.....	Physique (P. C. B.).
CHARLES PÉREZ...T	Zoologie.	DE BROGLIE....T	Théories physiques.
LÉON BERTRAND..T	Géologie structurale et géologie appliquée.	CHRÉTIEN.....	Optique appliquée.
E. RABAUD.....T	Biologie expérimentale.	P. JOB.....	Chimie générale.
M. GUICHARD.....	Chimie minérale.	LABROUSTE.....	Physique du Globe.
PAUL MONTEL...T	Théorie des fonctions et théorie des transforma- tions.	PRENANT.....	Zoologie.
P. WINTREBERT...T	Anatomie et histologie comparées.	VILLEY.....	Mécanique physique et expérimentale.
L. BLARINGHEM..T	Botanique.	BOHN.....	Zoologie (P. C. B.).
O. DUBOSCQ....T	Biologie maritime.	COMBES.....	Botanique (P. C. B.).
G. JULIA.....T	Mécanique analytique et mécanique céleste.	GARNIER.....T	Mathématiques générales.
C. MAUGUIN....T	Minéralogie.	PÈRES.....	Mécanique théorique des fluides.
A. MICHEL-LÉVY..T	Pétrographie.	HACKSPILL.....	Chimie (P. C. B.).
H. BÉNARD.....T	Mécanique expérimentale des fluides.	LAUGIER.....	Physiologie générale.
A. DENJOY.....T	Application de l'analyse à la géométrie.	TOUSSAINT.....	Technique aéronautique.
L. LUTAUD.....T	Géographie physique et géologie dynamique.	M. CURIE.....	Physique (P. C. B.).
EUGÈNE BLOCH...T	Physique théorique et phy- sique céleste.	G. RIBAUD.....T	Hautes températures.
G. BRUHAT.....	Physique.	CHAZY.....T	Mécanique rationnelle.
E. DARMOIS.....	Enseignement de physique.	GAULT.....	Chimie (P. C. B.).
A. DEBIERNE...T	Physique générale et ra- dioactivité.	CROZE.....	Recherches physiques.
A. DUFOUR.....T	Physique (P. C. B.).	DUPONT.....T	Théories chimiques.
L. DUNOYER.....	Optique appliquée.	LANQUINE.....	Géologie.
A. GUILLIERMOND T	Botanique.	VALIRON.....	Mathématiques générates.
M. JAVILLIER....	Chimie biologique.	BARRABE.....	Géologie structurale et géologie appliquée.
		MILLOT.....	Zoologie (P. C. B.).
		F. PERRIN.....	Théories physiques.
		VAVON.....	Chimie organique.
		G. DARMOIS.....	Calcul des probabilités et physique mathéma- tique.

Secrétaire..... A. PACAUD.
Secrétaire honoraire..... D. TOMBECK.



LE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE

À MES PARENTS

TÉMOIGNAGE D'AFFECTION ET DE RECONNAISSANCE

À MONSIEUR LOUIS PINEAU

DIRECTEUR DE L'OFFICE NATIONAL DES COMBUSTIBLES LIQUIDES

HOMMAGE RESPECTUEUX



Digitized by the Internet Archive
in 2026

PREMIÈRE THÈSE

ÉTUDE MAGNÉTIQUE EN ALSACE

INTERPRÉTATION GÉOLOGIQUE DES MESURES

INTRODUCTION.

Dès la moitié du XIX^e siècle, l'attention des géophysiciens s'est portée sur la localisation des zones *d'anomalies* dans la distribution du champ magnétique à la surface du globe terrestre. Les premières cartes magnétiques de la Terre, établies successivement par Hansteen (57) et par Sabine (118), indiquent les différentes particularités de cette distribution. Neumayer (98) précise davantage leur emplacement exact dans ses cartes rapportées à l'année 1885. Cependant, c'est à Bauer (12) que nous devons le tracé exact de la première carte magnétique de la Terre, entre les latitudes de 60° N et 60° S.

L'idée d'attribuer les grandes anomalies magnétiques de la Terre à la nature lithologique des formations superficielles de sa croûte fut développée d'abord par Naumann (96). Avant lui, Kreil (80) avait déjà attiré l'attention sur la déformation du champ magnétique terrestre dans les Alpes et dans les Carpathes; tandis que les frères Schlagintweit (120) faisaient une constatation analogue pour la chaîne de l'Himalaya au nord des Indes. Cette idée s'affermir davantage quand Moureaux (95) révéla l'existence de la grande anomalie magnétique du bassin de Paris dont la prolongation dans les Iles Britanniques a été localisée d'abord par Rücker et Thorpe (115), et plus tard par Walker et Wilson (137).

Vers la même époque, nous trouvons les études de Brunhes et de David (25) sur la forte anomalie magnétique du Puy-de-Dôme (ces études ont été reprises plus tard par Coulomb) (36) dont la cause ne pouvait résider *a priori* que dans la constitution minéralogique même de ce massif. A part des travaux de Nippoldt (99) en 1912, sur la liaison directe entre la géologie et la distribution du champ magnétique terrestre en Allemagne, nous trouvons en France les travaux récents de Mathias (88), de Maurain (90) et de ses collaborateurs (41, 20, 132, 39) qui ont mis en évidence des zones de fortes anomalies magnétiques en France et dont la signification géologique a été donnée ultérieurement par J. Jung (68). Dans cet ordre d'idées, déjà dès 1922, Milon (93) relia les anomalies constatées en Bretagne avec les grandes lignes tectoniques du massif armoricain.

Tous ces travaux ont montré effectivement que les anomalies magnétiques constatées à la surface du sol étaient bien en liaison directe avec les formations superficielles de la croûte terrestre, et formaient en quelque sorte une image à distance de leur nature, de leurs dimensions et de leur profondeur.

Or, toutes ces mesures ont été exécutées avec des instruments *absolus*; les mesures *relatives* au variomètre n'ont fait leur apparition que quand Ad. Schmidt a adopté la balance magnétique de Lloyd à l'exécution des opérations sur le terrain. Ainsi, dès 1923, le variomètre magnétique sortant du domaine limité de la *prospection géophysique* (8) était systématiquement utilisé pour la levée des cartes magnétiques relativement de grande envergure. Grâce à la rapidité de l'exécution des mesures, il y a eu ainsi une tendance marquée vers l'utilisation des résultats des *mesures relatives* pour la connaissance des *grandes structures géologiques régionales* (106, 107, 109, 123, 103, 76, 77, 11, 15, 21, 37, 69, 70, 105, 131, 146).

Mais tous ces travaux, aussi bien en France qu'à l'étranger, ne sont empreints que d'un *caractère qualitatif*. En effet, constater une anomalie et admettre une *liaison probable* avec une structure tectonique relativement simple (anticlinal ou syndinal, horst ou graben, fractures...) n'est qu'une solution superficielle de ce *problème complexe* qui consiste à déterminer *quantitativement* les dimensions et l'emplacement de la structure causant cette anomalie. Or, *aucun auteur n'a fourni la solution même partielle de ce problème*.

Le présent mémoire traite donc ce problème dans le cas particulier de l'Alsace.

Avant d'entreprendre l'exécution de mes mesures dans cette partie de la France, des mesures magnétiques ont été faites en Alsace et en Lorraine, d'abord par A. Nippold, en 16 stations absolues, et les résultats en ont été ramenés au 1^{er} janvier 1909 (A. Nippoldt : *Veröffentlichungen des k. preussischen meteorologischen Institut*. Vol. III, Berlin 1909-1910); puis, par Ch. Maurain en été 1926, comportant pour l'Alsace seule 24 stations absolues et faisant partie du nouveau réseau magnétique de la France (88,90). Dès 1930, j'ai pu donner en collaboration de J. Jung (66), une interprétation géologique sommaire de la carte des isanomaes déduite de ces dernières mesures. Je la complète aujourd'hui par l'interprétation d'une carte détaillée des isanomaes

de Δz comportant plus de 506 stations *relatives*, que j'ai exécutées au variomètre magnétique. Mon but n'est pas seulement de chercher une liaison entre la distribution du magnétisme et la tectonique en Alsace, mais de montrer aussi l'utilité que l'on peut tirer de l'application des mesures magnétiques comme un excellent outil d'investigation pour la géologie régionale.

Le point de départ de mon étude n'est qu'une carte détaillée des isanomales de la composante verticale du champ magnétique terrestre en Alsace. En établissant d'abord analytiquement la forme générale des isanomales et des profils magnétiques de plusieurs structures géologiques relativement simples, j'arrive à évaluer la nature magnétique, les dimensions et la profondeur *approximatives* des structures susceptibles de donner naissance à la distribution des isanomales et des profils magnétiques observés sur le terrain. Ainsi, contrairement à la tendance actuelle à se limiter par une interprétation *qualitative*, je tâche de donner surtout une interprétation *quantitative* de la dite carte.

Le mémoire se compose de trois parties :

I. La première partie traite mon *travail empirique* au laboratoire et sur le terrain.

II. La seconde partie est essentiellement *analytique*; elle traite la forme des isanomales et profils théoriques relative à des différentes structures géologiques simples.

III. La troisième partie forme l'ensemble de l'*interprétation quantitative* en liaison de la géologie régionale de l'Alsace d'après mes mesures magnétiques. Elle se base sur les données de I. et II., et comporte :

1° L'étude magnétique régionale d'un *fossé de remplissage* : la *plaine d'Alsace*;

2° L'étude magnétique régionale d'une *chaîne de montagnes* : les *Vosges*;

3° L'étude magnétique régionale du *volcanisme récent* : le *Kaiserstuhl*.

Outre les cartes et les figures dans le texte, trois planches au 320.000° facilitent la compréhension de la troisième partie du mémoire.

Ce travail a été exécuté à l'École Nationale supérieure du Pétrole et des Combustibles liquides de Strasbourg. Je remercie M. Henri Weiss, directeur de cette École, pour l'amabilité avec laquelle il a bien voulu suivre son élaboration avec intérêt et m'éviter tout souci d'ordre matériel pour son achèvement.

A M. Louis Pineau, directeur de l'Office national des Combustibles liquides, j'exprime ici mes sentiments de vive gratitude pour avoir fréquemment témoigné un intérêt efficace et bienveillant à mes travaux en considérant l'importance de la géophysique appliquée dans le domaine de la géologie du pétrole.

Ma dette est particulièrement grande envers M. Jean Jung, professeur à l'Université de Clermont-Ferrand, qui m'a engagé dès 1929 à aborder l'étude complexe du rôle joué par le magnétisme terrestre dans la géologie régionale. Il a suivi souvent l'élaboration de ce travail avec une sollicitude dont je garde un bien agréable souvenir.

Je tiens à exprimer à M. le Doyen Ch. Maurain, membre de l'Institut, ma reconnaissance respectueusement dévouée pour avoir bien voulu encourager mes efforts avec une sollicitude bienveillante.

Je dois à la généreuse initiative de M. Galliot, alors directeur du Service des Mines au Ministère des Travaux publics, de m'avoir facilité l'achèvement de cette étude par une aide matérielle qu'il a bien voulu m'accorder. A cet endroit, je prie M. Galliot de vouloir bien agréer l'expression de ma gratitude.

Je prie également M. Ch. Bihoreau, directeur des Services techniques à l'Office national des Combustibles liquides, de vouloir bien accepter mes remerciements pour l'intérêt constant qu'il a bien voulu témoigner à la bonne réalisation de cette étude.

J'adresse tous mes remerciements à MM. les Professeurs Jacob et Labrouste, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de faire partie de mon jury d'examen.

Mes remerciements vont aussi à M. J. Koenigsberger, professeur à l'Université de Fribourg i. Br.; à M. L. Eblé, physicien principal à l'Institut de Physique du Globe de Paris et à mon collègue M. Daniel Schneegans, dont les suggestions désintéressées m'ont été souvent d'un précieux secours lors de l'élaboration de ce travail.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.

Je ne cite ici que les principales publications auxquelles le lecteur peut éventuellement se reporter. Le numéro d'un mémoire auquel je renvoie dans le texte, y est reproduit en caractères gras et entre parenthèses.

Abréviations utilisées :

- C. R. . . . Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences.
A. C. L. . . Annales de l'Office national des Combustibles liquides.
Z. f. G. . . . Zeitschrift für Geophysik.
B. A. G. . . Gerlands Beiträge zur Geophysik. Ergänzungshefte für Angewandte Geophysik.
A. I. M. E. American Institute of Mining and Metallurgical Engineering.
A. A. P. G. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists.
A. I. P. G. Annales de l'Institut de Physique du Globe de Paris.
B. C. M. Annales du Bureau central météorologique.
-

- (1) ADAMS et GREEN. — *Phil. Mag.*, vol. XII, p. 361-380, 1931.
(2) AHRENS (W.). — Ergebnisse Magnetischer Untersuchungen im Vulkangebiet des Laacher Sees in der Eifel. — *B. A. G.*, vol. 2, n° 4, p. 320-336, 1932; ou encore : *Z. D. G.*, vol. 83, n° 9, p. 667, 1931.
(3) ALEXANIAN (C.-L.). — Règles pratiques pour l'emploi du magnétomètre dans les prospections géophysiques. — *A. C. L.*, n° 4, p. 677-702, 1930; ou encore : Practical Rules for the use of the Magnetometer in Geophysical Prospecting. *Bureau of Mines*, I. C. 6527, novembre 1932, Washington.
(4) ALEXANIAN (C. L.). — Règles pratiques pour déterminer les constantes d'un magnétomètre. — *A. C. L.*, n° 2, p. 261-267, 1931.
(5) ALEXANIAN (C. L.). — Établissement de la carte des anomalies de la composante verticale du champ magnétique terrestre dans la Plaine d'Alsace. — *C. R.*, t. XCCVI, p. 420-422, 1933.
(6) ALEXANIAN (C. L.). — Étude magnétique régionale dans la région pétrolière de Pechelbronn, Alsace, France. — *World Petroleum Congress*, 1933, 1, p. 91-95, Londres.
(7) ALEXANIAN (C. L.). — Établissement de la carte des anomalies de la composante verticale du champ magnétique terrestre dans les Vosges. — *C. R.*, t. CXCVIII, p. 1715-1717, 1934.
(8) ALEXANIAN (C. L.). — Traité pratique de prospection géophysique à l'usage des Géologues et des Ingénieurs des Mines. — 1 vol., Ch. Béranger, éd., Paris-Liége, 1932, p. 33-59.

(9) ALLAN (G. E.). — On the Magnetism of Basalt and the Magnetic Behaviour of Basaltic Bars when heated in Air. — *Phil. Mag.*, (6), 7, p. 45-61, 1904.

(10) BAHURIN (J.). — The magnetic Field of Bodies of Regular Shape from the viewpoint of Magnetometric Studies. — *Bull. Inst. Pract. Geophysics*, n^{os} 2, 3, 1926-1927, p. 1-63 et 148-250, Leningrad.

(11) BASLER (O.). — Die vermessung des erdmagnetischen Anomalie bei Pr. Eylau in Ostpreussen und ein Versuch ihrer Deutung. — *B. A. G.*, vol. 2, n^o 1, 1931, p. 69-121.

(12) BAUER (L. A.). — Terrestrial Magnetism, t. I, p. 169 et t. IV, p. 33, 1896-1899.

(13) BAUER (L. A.). — Chief results of a preliminary analysis of the Earth's magnetic field for 1922. — *Terr. Magn.*, 28 (1923).

(14) BAULIG (H.). — Questions de morphologie vosgienne et rhénane. — *Annales de Géographie*, t. XXXI, 1922, p. 151.

(15) BEIN (E.). — Die Geologie des Gebietes zwischen Saale und Elbe im Lichte erdmagnetischer Messungen. Beitr. zur geophysikalischen Erforschung der Erdrinde, vol. 6, 1933, p. 13-69, extrait de *Preussische geologische Landesanstalt*, Berlin.

(16) BELLUIGI (A.). — Osservazioni su Alcuni relievi geomagnetici nella pianura del Po. *B. A. G.*, vol. 24, n^o 4, 1929, p. 337-342.

(17) BELLUIGI (A.). — A propos des méthodes magnétiques employées jusqu'à ce jour dans la recherche des gisements pétrolifères. — *Revue pétrolifère*, 1931, p. 1281-1284, n^o 443.

(18) BOOTH (E.) et RAYER (J. M.). — A magnetic Survey in the vicinity of a granite Bathylite. — *Jour. and Proc. Roy. Soc. of New South Wales*, Sydney, vol. 67, p. 117-131, sept. 1933.

(19) BRANCO (M.). — Zusammenhang der Isoklinen im vulkanischen Ries mit seinem geologischen Aufbau. *Abh. d. Berl. Akad.*, 1903.

(20) BRAZIER (C. E.). — *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXXVI, p. 958-960, 1923.

(21) BRINKMANN (F.). — Magnetische Messungen in Sudwestlichen Mecklenburg. — *Mitt. aus der Meckl. geol. Lands. Rostock*, n^o 41, 6, 1933, p. 5-41.

(22) BRIQUET (A.). — Le quaternaire de l'Alsace. — *Bull. Soc. Géol. France*, t. XXX, p. 977-1014, 1930.

(23) BRIQUET (A.). — Alluvions anciennes et mouvements du sol dans la Plaine d'Alsace. — *Bull. Soc. Géol. France*, t. XXV, 1925. *C. R. sommaire* p. 85.

(24) BRODERICK (T. M.). — Some Features of Magnetic Surveys of the Magnetite Deposits of the Duluth Gabbro. — *Econ. Geol.*, 1918, vol. 13, n^o 2, p. 35.

(25) BRUHES (B.) et DAVID (P.). — Étude des anomalies du champ magnétique terrestre sur le Puy-de-Dôme. — *Journ. de Phys.*, 4^e série, t. II, p. 202-205, 1903; ou encore *C. R.*, t. CXLVI, p. 878-880, 1908.

(26) BUBNOFF (S.). — Über die magnetische Anomalie von Kursk. — *Zeits. f. ang. Geophys.*, n^o 1, p. 144-149, 1923 et n^o 1, p. 247-249, 1924.

(27) CARLHEIM-GYLLENSKIÖLD. — Mémoire sur le magnétisme terrestre dans la Suède méridionale. — *K. Svenska Vetenskaps Ac.*, Handlingar Bd 27, n° 7, Stockholm, 1895.

(28) CARLHEIM-GYLLENSKIÖLD. — A Brief Account of a Magnetic Survey of the Iron Ore Field of Kiirunavaara. — Stockholm, 1910.

(29) CARRETTE (G.) et KELLY (S. F.). — Discovery of Salt Domes in Alsace by electrical exploration. A. I. M. E. — *Geophysical Prospecting*, p. 211-220, New-York, 1929.

(30) CHEVALLIER (R.) et PIERRE (R.). — Propriétés thermomagnétiques des roches volcaniques. — *Annales de Physique*, t. XVIII, p. 383-477, 1932.

(31) CLARKE (F. W.) et WASHINGTON (A. S.). — The composition of the Earth's Crust. — *U. S. Geol. Surv., Prof. Paper*, n° 127, 1924, Washington.

(32) CHI-SUN-YEH. — The Effect of Hydrostatic Pressure on the Magnetic Permeability of Iron, Cobalt and Nickel. — *Am. Acad. Arts and Sci. Proc.*, (60), p. 503-533, 1925.

(33) CLIFFORD (O. C.). — Magnetic Resurvey of Oklahoma City Field. — *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.*, vol. 16, n° 12, 1932.

(34) COLLINGWOOD (D. M.). — Magnetic susceptibility and magnetite content of sands and shales. — *Bull. Am. Ass. Petr. Geol.*, vol. 14, p. 1187-1190, 1930.

(35) Mc COMB (H. E.) et LUDY (A. K.). — Temperature Compensation and Adjustment of Magnetic Variometers. — *Terr. Mag.*, mars 1930, p. 32.

(36) COULOMB (J.). — L'anomalie magnétique du Puy-de-Dôme. — *Bull. Inst. et Obs. de Phys. du Globe du Puy-de-Dôme*, n° 6, p. 65-93, 1933.

(37) COX (A. H.). — Relations between the geological Structure and the magnetical perturbations. — *Phil. Mag.*, t. XXXVI, p. 426, 1918 ou encore : *Phil. Trans. of Roy. Soc.*, série A, vol. 219, 1919.

(38) DAHLBLOM (Th.) et UHLICH (P.). — Ueber Magnetische Erzlagertstätten und deren Untersuchung durch magnetische Messungen. — Freiburg im Sachsen, chez Crag und Gerlach, 1899.

(39) DOUGIER (R.). — *C. R.*, t. CLXXV, p. 1430-1432, 1922. *C. R.*, t. CLXXVII, p. 1133-1135, 1923.

(40) DYSON (Sir Frank) et FURNER (H.). — Monthly Notices of the Roy. — *Astr. Soc., Geophys. Suppl.*, vol. 1, n° 3, p. 76-88, 1923, Londres.

(41) EBLÉ (L.). — *C. R.*, t. CLXXV, p. 494-496, 1922. *C. R.*, t. CLXXVIII, p. 1201-1202, 1924. *C. R.*, t. CLXXXII, p. 1400-1402, 1926.

(42) EBLÉ (L.) et MOMERY (M^{11e} G.). — Remarques sur la variation diurne de la déclinaison. 65^e Congrès des Sociétés savantes, 1932, t. LIX, p. 497-503.

(43) EÖTVÖS (R.). — Verhandlungen der XVI allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung, p. 319-350, 1909.

(44) FRIEDEL (G.). — Sur l'existence d'un dôme de sel dans le bassin oligocène du Haut-Rhin. — *C. R.*, t. CLXXXIV, 1927, p. 1028-1030.

(45) FROST (D. V.). — Contribution à la théorie du procédé de prospection magnétique (en russe). — *Izvestia Russkago Nauchnaga Instituta. Belgrade*, n° 6, 1932, p. 87-134.

- (46) GIGNOUX (M.) et HOFFMANN (C.). — Le bassin pétrolifère de Pechelbronn, (Alsace). *Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, Strasbourg 1920.
- (47) GRAEFF (Fr.). — Zur Geologie des Kaiserstuhlgebirges. *Mittlg. der Bad. geol. Landesanstalt, Heidelberg*, 1891, Bd. II, p. 405-495.
- (48) GRENET (G.). — Sur les propriétés magnétiques des roches. — *Annales de Physique*, t. XIII, 1930, p. 263-348. (On y trouve la valeur de la susceptibilité magnétique de 281 échantillons de roches dont la plupart déterminée par cet auteur.)
- (49) GRIESSER (R.). — Inog. Diss., *Freiburg i. Br.*, 1921.
- (50) HAANEL (E.). — On the Location and Examination of Magnetic Ore Deposits by Magnetometric Measurements. Dept. of the Interior, Ottawa, Canada, 1904.
- (51) HAALCK (H.). — Theorie der Magnetischen Aufschlussmethoden. — *Z. f. G.*, vol. 2, p. 1-11 et 49-62, 1926-1927.
- (52) HAALCK (H.). — Die magnetischen Verfahren der Angewandten Geophysik. Berlin, 1927, chez Bortetraeger, p. 55-64.
- (53) HAALCK (H.). — Die neue magnetische Universalwaage. — *Z. f. G.*, vol. 3, n^{os} 2-3, p. 58-68, 1927.
- (54) HALLIMOND (A. F.). — Magnetic observations on the Swynnerton Dyke. — *The Mining Magazine*, vol. 41, n^o 1, juillet 1929, p. 16-22.
- (55) HALLIMOND (A. F.) et HERROUX (E. F.). — Laboratory determinations of the magnetic properties of certain igneous Rocks. — *Proc. Roy. Soc. London*, série A, vol. 141, n^o A 844, 1933, p. 302-314.
- (56) HARTNELL (G.). — An Intensity-variometer corrected for Temperature. — *Terr. Mag.*, septembre 1925, p. 117-124.
- (57) HANSTEEN (Chr.). — *Pogg. Ann.*, t. III, p. 225 et 353, 1825. *Pogg. Ann.*, t. IX, p. 49 et 229, 1827.
- (58) HEILAND (C. A.). — Theory of Adolf Schmidt's Horizontal Field Balance. — *Geophysical Prospecting A. I. M. E.*, 1929, 53 pages.
- (59) HEILAND (C. A.). — Possible causes of abnormal Polarization of Magnetic Formations. — *Z. f. G.*, vol. 6, n^{os} 4-7, 1930, p. 228-235.
- (60) HEILAND (C. A.) et PUGH (W. E.). — Theory and Experiments concerning a new compensated magnetometer system. — *Technical Publication*, n^o 483, *A. I. M. E.*, 1932, octobre, 42 pages.
- (61) HOTCHKISS (W. O.). — Magnetic methods for exploration and Geologic work. — *Wisconsin Geol. Survey.*, Bull. 44, trans. vol. 69, p. 36, 1925.
- (61 bis) HUGHES. — *Phil. Mag.*, 5^e série, t. VIII, p. 80.
- (62) JACQUET (Ch.). — Contribution à l'étude du magnétisme des roches volcaniques du département du Puy-de-Dôme. Presses universitaires de France ou *Bull. Obs. Phys. Globe du Puy-de-Dôme*, n^o 1, 1929.
- (63) JENNY (W. P.). — Magnetic Vector Study of Regional and Local Geologic Structure in Principal Oil States. — *A. A. P. G.*, vol. 16, n^o 12, 1932, p. 1177-1203.
- (64) JENNY (W. P.). — Problems in the Geologic interpretation of the Earth's Major Magnetic Anomalies. — *Terr. Mag. and Atm. Electricity*, Baltimore, vol. 38, n^o 2, 1933, p. 97-105.

- (65) JUNG (J.). — Contribution à la Géologie des Vosges hercyniennes d'Alsace. — Mémoire n° 2 du *Service géol. d'Alsace et de Lorraine*. Strasbourg, 1928.
- (66) JUNG (J.) et ALEXANIAN (C.). — Interprétation des anomalies gravimétriques et magnétiques d'Alsace. — *A. C. L.*, 1931, n° 1, p. 43-58.
- (67) JUNG (J.) et ALEXANIAN (C.). — Contribution à l'étude des failles en prospection magnétique. — *A. C. L.*, 1931, n° 4, p. 711-720.
- (68) JUNG (J.). — La géologie profonde de la France d'après le nouveau réseau magnétique. — *A. I. P. G.*, 1933, t. XI, p. 119-162 et Annexe II, par C. ALEXANIAN, p. 165-166.
- (69) KAISER (A.). — Beziehungen zwischen Erdmagnetismus und Karbon im Osnabrücker Lande. — *B. A. G.*, vol. 1, n° 1, 1930, p. 15-22.
- (70) KEUNECKE (O.). — Der Tiefeere Undergrund des Subherzynen Beckens und seines Nordwestlichen Vorlandes auf grund magnetischer Messungen. — *B. A. G.*, vol. 2, n° 4, 1931, p. 344-373 et vol. 3, n° 1, 1932, p. 137-142.
- (71) KNOP (A.). — Der Kaiserstuhl im Brisgau. Leipzig, 1892.
- (72) KOENIGSBERGER (J.). — Zur Deutung der Karten magnetischer Isanomalien. — *B. A. G.*, vol. 2, 1928, p. 241-291.
- (73) KOENIGSBERGER (J.). — The Influence of Topography on the Magnetic Vertical Field. — *B. A. G.*, vol. 2, n° 3-4, 1928.
- (74) KOENIGSBERGER (J.). — Grössenverhältniss von Remanenten zu Induziertem Magnetismus in Gesteinen. Grösse und Richtung des Remanenten Magnetismus. — *Z. f. G.*, vol. 6, n° 4-7, 1930, p. 190-207.
- (75) KOENIGSBERGER (J.). — Remanenter und Induzierter Magnetismus bei einlagerungen. — *B. A. G.*, vol. 1, 1931, p. 469-471, n° 4.
- (76) KOENIGSBERGER (J.). — Variometrisch Bestimmtes Magnetisches Profil Offenburg-Chiasso. Einfluss von Gesteinssuszeptibilität und Tektonik. — *B. A. G.*, vol. 2, n° 4, 1932, p. 374-400.
- (77) KOHL (E.). — Über die ermittlung tektonischer Linien mittels der magnetischen Feldwaage in Gebieten geringer Unterschiede der magnetischen Vertikalintensität, im besonderen in Nord-Deutschland. — *Kali und verwandte Salze*, Berlin, vol. 25, n° 14-15 et 16, 1931, p. 209-215, 225-230 et 241-243.
- (78) KOHL (E.). — Über die magnetische Störwirkung von Eienkörpern und Eisenmassen (Schachtanlagen, Bohreinrichtungen...). — *Kali und verwandte Salze*, vol. 24, n° 12, 13 et 14, 1930; p. 177-181, 93-120 et 212-216.
- (79) KOULOMZINE (Th.). — Abhandlung Über die von den Askania-Werken erbaute Vertikal-Feldwaage von Schmidt. — *Z. f. G.*, t. VIII, n° 3-4, 1932, p. 166-180.
- (80) KREIL (C.). — Denkschriften der Akademie der Wissenschaften. — *Math.-naturw.*, Vienne, vol. 1 et vol. 3, 1850-1862, p. 265-310.
- (81) LACROIX (A.). — Minéralogie de la France, Paris, 1910, t. IV, p. 142-143.
- (82) LAPPARENT (J. de). — Leçons de Pétrographie, Paris, 1923, p. 86, 95, 97, 98, 112 et 115.

- (83) LASAREFF (P.). — Annexes, Procès-verbaux. — *Acad. Sc. Petrograd*, p. 81-93, 1921 ou encore : *C. R.*, t. CLXXVIII, p. 1991-1993, 1924, Paris.
- (84) LESTER (O. C.). — A simple derivation of the working equations of Magnetizing Variometers for the Vertical and horizontal Intensity. — *A. A. P. G.*, 1928, 12, p. 855.
- (84 bis) LEYST (Ernst). — The Kursk magnetic anomaly, Moscou, 1921.
- (85) LOEWINSON-LESSING et TURCEV. — Recherches expérimentales sur l'aimantation des roches soumises aux chauffages. — *C. R. Ac. de U. S. S. R.*, séances du 2 mars et du 4 mai 1927.
- (86) LYTON (E. D.). — Some results of magnetometer survey in California. — *A. A. P. G.*, 1931, vol. 15, p. 1351-1370.
- (87) MALKIN (N. R.). — Solution d'un problème magnétométrique inverse pour le cas d'une surface de contact (en russe). — *C. R. Ac. de U. S. S. R.*, 1931, p. 231-235.
- (88) MATHIAS (E.), MAURAIN (Ch.) et EBLÉ (L.). — Nouveau réseau magnétique de la France au 1^{er} janvier 1924. — *A. L. P. G.*, t. VII, VIII et IX, de 1929 à 1931.
- (89) MATHIAS (E.). — Recherche de la loi de distribution régulière des éléments magnétiques d'une contrée à une date fixe. — *Ann. Obs. de Toulouse*, t. VII, 1907, p. 397.
- (90) MAURAIN (Ch.). — *C. R.*, t. CLXXVI, p. 847-850, 1923. *C. R.*, t. CLXXVIII, p. 508-510, 1924. *C. R.*, t. CLXXXII, p. 647-649, 1926. Mesures magnétiques en Alsace et en Lorraine, *A. I. P. G.*, t. IV, 1928, p. 85-98.
- (91) MEYER (G.). — Erdmagnetische Untersuchungen im Kaiserstuhl. — *Ber. Nat. Ges. Freiburg in Br.*, t. XII, 1902, p. 134-173.
- (92) MEYER (G.). — Magnetische Messungen über Basaltsteinlagern in Oberhessen. — *B. A. G.*, vol. 1, n° 4, 1931, p. 420-431.
- (93) MILON (Y.). — Les anomalies magnétiques et la tectonique du massif armoricain. — *Bull. Soc. Géol. et Min. de Bretagne*, t. III, fasc. I, p. 73-79, 1922.
- (94) MOUREAUX (Th.). — Réseau magnétique de la France au 1^{er} janvier 1896 et distribution théorique des éléments magnétiques. — *B. G. M.*, 1901, t. I, p. 81.
- (95) MOUREAUX (Th.). — Mesures magnétiques dans le bassin de Paris. — *B. G. M.*, 1890, p. 95-112 et 1904, p. 24-82. *C. R.*, t. CXXXVII, p. 918-920, 1903. *C. R.*, t. CXXII, 1896, p. 1478-1480 (Anomalie magnétique de la Kursk).
- (96) NAUMANN (Edm.). — Die Erscheinungen des Erdmagnetismus in ihrer Abhängigkeit vom Bau der Erdrinde. Stuttgart, 1887; ou encore : *Geol. Mag.*, vol. 6, p. 486-490, 1899, Londres; ou : *Zeits. f. wissenschaftlich Geographie*, Vienne, vol. 7; ou enfin : *Geotektonik und Erdmagnetismus*; *Z. D. G.*, vol. 51, p. 114-130, 1899.
- (97) NEUMANN (G.). — Magnetische Untersuchungen bei Berggiesshübel in Sachsen. — *B. A. G.*, vol. 2, n° 1, 1931, p. 22-68.

- (98) NEUMAYER (G.). — Berghaus'Physikalischer Atlas, Gotha, 1892.
- (99) NIPPOLDT (A.). — Die neuen magnetischen Karten des Deutschen Reichs als Grundlage für geologische Forschungen. — *Die Naturwissenschaften*, t. III, 1915, p. 349-352.
- (100) NIPPOLDT (A.). — Karten der Verteilung des Erdmagnetismus und seiner örtlichen Störungen in Europa. — *Archiv des Erdmagnetismus*, H. 6 Berlin, 1927. *Veröff. d. Preuss. Meteorolog. Inst.*, n° 354.
- (101) ORKISZ (Henryk). — Uwagi o metodzie opracowania spostrzégén magnetyeznych, uzyskanych przy pomocy wagi Schmidt'a. — Communication n° 68 du vol. 6 de l'Institut de Geophysique de l'Université de Lwów (Pologne), p. 41-80, 1933.
- (102) PALAZZO (L.). — Propriétés magnétiques des roches sur place et au laboratoire. — Union géodésique et géophysique internationale. Section du magnétisme et de l'électricité. Rapports préliminaires, 1928.
- (103) PFAFF (F. W.). — Beziehungen zwischen Geologischen und Erdmagnetischen Verhältnissen. — *Zeits. F. Praktische Geologie*, vol. 38, n° 9, p. 129-135 et n° 10, p. 154-159, 1930.
- (104) POCKELS (F.). — Ueber das magnetische Verhalten einiger basaltischer Gesteine. — *Ann. der Physik*, t. LXIII, p. 195-307, 1897; ou : *Phys. Zeits.*, 2, p. 306-307, 1901; ou encore : *Phys. Zeits.* 3, p. 22-23, 1902.
- (105) PUZICHA (K.). — Die magnetischen Granite von Schierke im Harz. — *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, Stuttgart, B, n° 1, 1931, p. 1-6.
- (106) REICH (H.). — Ergebnisse Regional Magnetischer Forschung in der Eifel. — *Z. D. G.*, vol. 83, n° 9, 1931, p. 646-653.
- (107) REICH (H.). — Über eine magnetische Anomalie in der Prignitz und ihre Bedeutung für die Geologie Nord Deutschen Flachlandes. — *Fortschritte der Geologie*, vol. 11, 1932, p. 99-119.
- (108) REICH (H.). — Erfahrungen mit magnetischen Messungen in Deutschen Erdölgebieten. — *Proc. World Petr. Congr.*, 1933, vol. 1, p. 96-98.
- (109) REICH (H.). — Zur Frage der regionalen magnetischen Anomalien Deutschlands, insonder derjenigen NordDeutschlands. — *Z. f. G.*, t. IV, 1928, n° 2, p. 84-102.
- (110) REICH (H.) et SCHRÖDER (Rupp). — Magnetische Untersuchung eines Basaltsteinbruchgeländes. — *B. A. G.*, vol. 1, n° 4, 1931, p. 432-436.
- (111) ROTHÉ (E.) et HÉÉ (M^{me} A.). — Propriétés magnétiques des zones stratigraphiques de la vallée du Rhin. — *C. R.*, t. CLXXXVII, p. 52, 1928.
- (111 bis) ROTHÉ (E.). — Méthodes de prospection du sous-sol. — 1930, Paris.
- (112) ROTHÉ (J.-P.). — Interprétation géologique des mesures magnétiques dans le bassin de Paris. — *C. R.*, t. CXCVIII, n° 23, 1930, p. 1144-1146.
- (113) ROTHÉ (J. P.). — Sur le magnétisme des basaltes d'Alsace. — *C. R.*, t. CXCVIII, n° 16, p. 1443-1444, 1934.
- (114) RÖSSIGER (M.) et PUZICHA (K.). — Magnetische Messungen am Oberharzer Diabaszuge. — *B. A. G.*, vol. 3, n° 1, 1932, p. 45-108.

- (115) RUCKER (A. W.) et THORPE (E.). — The magnetic Survey of the British Isles for the Epoch January f. 1886; and January f. 1891. — *Phil. Trans. Roy. Soc.*, vol. 181, 1890, et vol. 188; 1896, Londres.
- (116) RUCKER (A. W.). — On the relation between magnetic permeability of rocks and regional magnetic disturbances. — *Roy. Soc. Proc.*, 1890-1891-1892, p. 41, 505, 535.
- (117) RUCKER (A. W.) et WHITE (W. H.). — On the determination of the magnetic susceptibility of rocks. — *Proc. Roy. Soc.*, vol. 63, p. 460-466, 1898.
- (118) SABINE (R.). — *Brit. Ass. Rep.*, p. 1, 1837.
- (119) SAVORNIN (A.). — Mesures d'anomalies magnétiques à Madagascar et leurs relations avec des phénomènes géologiques. — Tananarive, 1932, *Service des Mines*, 4 pages.
- (120) SCHLAGINTWEIT (H. Ad.) et (R. de). — Results of a scientific mission to India and Heigh Asia. Leipzig et Londres, t. I, 1871.
- (121) SCHLUMBERGER (C. et M.). — Découverte près de Hettenschlag d'un deuxième dôme de sel sous la Plaine d'Alsace. — *C. R.*, 1928, t. CLXXXVII, p. 445.
- (122) SCHULZE (E. G.). — Magnetische Vermessung einiger tertiärer Erup-tivgänge und Stöcke im Sächsischen Elbsandsteingebirge. — *Z. f. G.*, t. VI, 1930, n° 3, p. 141-156.
- (123) SCHUH (Fr.). — Die geologische Bedeutung der Schaffung einer Isanomalienkarte der magnetischen Vertikalintensität von Deutschland. — *Z. f. G.*, 6, 1930, p. 235-248.
- (123 bis) SLICHTER (L. B.). — Certain Aspects of Magnetic Surveying. — *A. I. M. E. Techn. Publication*, n° 120, New-York, 1928.
- (124) SMITH (H. L.). — Monographs of the U. S. Geological Survey. — Washington, vol. 36, n° 2, p. 336-373, 1899.
- (125) SOELLNER (J.). — Über essexitisch-theralithisch-monzonitische Tiefengesteine aus dem Kaiserstuhl. Mitteilungen der Badischen Geologischen Landesanstalt. — Freiburg i Br., 1928, vol. 10, p. 1-98.
- (126) SOUDER (W. H.) et HIDAERT (P.). — *Sc. Pap. Bur. Stand.*, 1922, p. 426.
- (127) SPERANSKY (R. V.). — Principe d'application de la prospection magnétique aux gisements fortement aimantés. Calcul de leur réserve (en russe). — *Razvedka Nedr.*, Moscou, n° 2, janvier 1934, p. 17-18.
- (128) STEINBERGER. — *Physics*, vol. 4, avril 1933, p. 153-161.
- (129) STÖCKE (K.). — Magnetische Z Variometermessung am serpent in von Frankenstein in Schlesien. — *B. A. G.*, vol. 1, n° 4, 1931, p. 457-468.
- (130) STRAHAN (A.) et COX (H.). — *Nature*, Londres, vol. 101, p. 257-258, 1918.
- (130 bis) STUTZER (F.), GROSS (W.) et BORNEMANN (K.). — *Metall und Erz.*, t. VI, p. 1, 1918.
- (131) SWINNER (R.). — Gebirgsbau und Erdmagnetismus in Böhmischer Masse und Ostalpen. — *B. A. G.*, vol. 39, n° 1, 1933, p. 58-81.

(132) TABESSE (E.). — *C. R.*, t. CLXXX, p. 382-384, 1925. *C. R.*, t. CLXXXII, p. 234-236, 1926.

(133) THALÉN (T.). — Sur la recherche des minerais de fer à l'aide des mesures magnétiques (en suédois et en allemand). — *Berg. u. Hutten. Zeitschr.*, 1875, vol. 34, p. 160-161.

(134) TIBERG (E.). — *Jährnkontorets Annalen*, 1884, p. 29.

(135) TURCEV (A.). — Investigation des propriétés magnétiques des roches (en russe). — *C. R. Ac. Sc. de U. R. R. S.*, séance du 23 février 1927.

(136) VENSKE (C.). — Thermische Nachwirkung bei erdmagnetischen Variometern. Anhang. zum. *Tact. Ber. des Pr. meteor. Institut.* 1917-1919, p. 80.

(137) WALKER (G. W.) et WILSON (E.). — The magnetic Resurvey of the British Isles for the Epoch January f. 1915. — *Phil. Trans. Roy. Soc.*, série A, vol. 219, juillet 1919, Londres.

(138) WAGNER (W.). — La géologie des puits des mines de potasse de la haute Alsace. — *Mém. Ser. Carte géol. d'Alsace et de Lorraine*, n° 1, 1929.

(139) WASHINGTON (H. S.). — The Chemistry of the Earth's Crust. — *Journ. of. Franklin Inst.*, 1920.

(140) WEELDEN (A. van). — Magnetic Anomalies in Oil Fields. — *World Petr. Congress*, 1933, vol. 1, p. 86-90.

(141) WEISS (P.). — Recherches sur l'aimantation de la magnétite cristallisée. — *Eclairage électrique*, 7. p. 487, 1896. Ulérieurement : *Journal de Physique*, 1910, 1911, 1917; ou : *C. R.*, t. CLXXVIII, p. 1046, 1347, 1448, 1670, de l'année 1924. A ce sujet, voir également les travaux de P. CURIE, de Ch. MAURAIN, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, n° du mois de juillet 1910.

(142) WELO (L. A.). — Effect of Pressure on the magnetisation of Magnetite. *Science*, 1926, vol. 64, p. 453.

(143) WELO (L. A.) et BAUDISCH. — Studies on the precipitated Magnetite. — *Phil. Mag.*, t. VII, 1927, n° 3, p. 396.

(144) WILSON (E.). — On the magnetic susceptibilities of certain rocks specimens. — *Trans. Roy. Soc.*, Londres, série A, 219, 1919, p. 83-87.

(145) WOLFF (W.). — Magnetische Messungen in OstHarz und in seine, weiteren Umgebung. — *Beiträge zur geophysikalischen Erforschung der Erdrinde* vol. 5, 1931, 43 pages, publié par *Preussische Geologische Landesamt*, Berlin.

(146) ZWERGER (R. von). — Tektonik und Anomalien der Vertikalintensität, des Erdmagnetismus in Mitteldeutschland. — *Proc. World Petr. Congress*, 1933, vol. 1, p. 99-101.

(147) ZWERGER (R. von). — Magnetic investigations and Petroleum in Central Germany. — *Erdöl und Teer*, vol. 9, 1933, p. 205-206; ou encore *Petrol um Times*, vol. 30, n° 759, 1933, p. 181.

(148) ZOTZ (L.). — Über das Tertiär des Kaiserstuhls. — *Ünang. Dissertat* Freib i. Br., 1924.

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER.

PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DES ROCHES.

La magnétite se trouve généralement dans toutes les roches en quantité appréciable, sauf dans les calcaires et certaines marnes; elle est considérée par les géologues comme le principal minéral susceptible de produire de grandes perturbations dans la distribution du champ magnétique terrestre, puisque, dès 1896, P. Weiss (141) a montré sur deux échantillons de magnétite placés dans un champ de 0,6 gauss (même ordre de grandeur que l'intensité du champ terrestre) que la valeur de l'intensité du champ induit était respectivement 85 et 285 fois plus forte que celle du champ agissant. Je donne (1) d'après Stearn les nombres suivants relatifs à un pourcentage approximatif de la magnétite dans quelques roches. Certes, il n'en faut retenir que l'ordre de grandeur. On sait d'ailleurs d'une façon générale que les roches éruptives basiques (gabbro, diorite, diabase...) sont distinctement plus magnétiques que les roches éruptives acides.

ROCHES.	POURCENTAGE MOYEN.
Granite.	1,7
Basalte.	5,8
Grès.	0,6
Roches éruptives.	3
Roches sédimentaires.	0,08

A ce sujet, A. Lacroix (81) et J. de Lapparent (82) donnent les valeurs suivantes d'après l'analyse de quelques roches éruptives :

Granite à amphibole (Vosges)	3,01 p. 100	De Lapparent.
Bekinkinite (Pyroxène, Amphibole) . . .	5,49 p. 100	Lacroix.

(1) Stearn, (N.H.): A Background for the Application of Geomagnetism to Exploration. A. I. M. E. Technical Publication n° 150; 1928, New-York.

Peridotite (Dunite de Cardine du Nord)	1,6	p. 100	De Lapparent.
Peridotite (Pyrénées)	4	p. 100	—
Pyroxénolite (Ariège, Pyrénées)	3,5	p. 100	—
Gabbro (Plagioclase, Maine, E. U.)	1,9	p. 100	—
Diorite (Mont Ascutney, Vermont, E. U.)	3,2	p. 100	—
Granite d'Andlau (Vosges)	3,17	p. 100	—
Granite à biotite	5 à 10	p. 100	—

On voit donc que les roches volcaniques contiennent une forte proportion de magnétite variant de 2 à 4 p. 100. Dans ces conditions, comme toutes ces roches forment la majeure partie de l'écorce terrestre, une telle proportion de magnétite ne pouvait, d'après les géologues, qu'affecter considérablement la distribution régulière du champ magnétique terrestre.

Afin de me rendre compte de la grandeur des propriétés magnétiques des roches de l'Alsace, j'ai déterminé d'abord à la balance de Curie et de Chêneveau la valeur de la susceptibilité magnétique de plusieurs échantillons de roches prélevés dans la région soumise aux mesures magnétiques car la connaissance de ce facteur physique était nécessaire pour l'évaluation ultérieure des dimensions et de la profondeur des structures géologiques. Comme G. Grenet (48), j'ai choisi comme substance de comparaison, le pyrophosphate de manganèse pur dont la susceptibilité est égale à $103 \cdot 10^{-6}$ environ d'après G. Foëx et M^{lle} A. Brunet (1).

Voici les valeurs que j'ai trouvées :

ÉCHANTILLONS.	SUSCEPTIBILITÉ EN $K \cdot 10^6$.
Granite porphyroïde (Vosges)	600
Granite à grain fin (Vosges)	720
Ryolite (Rothau)	112
Trachyte (Rothau)	314
Serpentine (Col des Bagenelles, Vosges)	1.100
Andésite (Rothau)	570
Basalte à plagioclase (Gundershoffen)	923
Basalte à néphéline (Orbey, Vosges)	2.710
Basalte à olivine (Riquewihr)	2.430
Gneiss (Rauenthal)	343
Micaschiste (Lubine, Vosges)	217
Schiste de Villé (Chapelle d'Albé)	48
Grauwacke (Culm, Wisches)	27
Grès bigarré	7

(1) G. FOËX et M^{lle} A. BRUNET : Propriétés magnétiques du pyrophosphate de manganèse. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXXXIV, p. 443, 1927.

Conglomérat houiller (Lubine).....	11
Marnes à Cyrènes.....	de 17 à 34
Couche à Meletta.....	78
Marne bariolée et Marne à foraminifère.....	8

Ce sont des valeurs moyennes déduites sur trois échantillons d'une même roche. Il faut en retenir l'ordre de grandeur qui concorde d'ailleurs avec celui trouvé par plusieurs auteurs (74, 37, 104, 117, 103, 61 *bis*, 100 *bis*, 111 et 48) sur des échantillons de même nature mais de provenance différente. Dans ces conditions, j'admets pour mes calculs analytiques, l'ordre de grandeur suivant comme susceptibilité magnétique de trois catégories de roches distinctes.

Roches basiques.....	$3.000.10^{-6}$
Roches acides.....	300.10^{-6}
Roches sédimentaires.....	30.10^{-6}

D'après G. Grenet (48) la susceptibilité des roches dépourvues de magnétite visible en plaque mince (roches sédimentaires) est en général inférieure à 50.10^{-6} . Mes résultats sur les quelques formations sédimentaires de l'Oligocène du Bassin du Rhin viennent à l'appui de cette constatation, et vérifient les résultats obtenus antérieurement sur d'autres échantillons par M. E. Rothé et M^{me} A. Hée (111). La valeur relativement élevée de la susceptibilité magnétique de la couche à Meletta doit être attribuée à une quantité légèrement prononcée de magnétite. En effet, la couche à Meletta de la vallée du Rhin est formée des marnes gréseuses micacées, il est très probable que la décomposition des débris du mica ait libéré une faible quantité de magnétite.

Je n'oublie pas cependant que les résultats de toutes ces déterminations ne présentent qu'un *caractère relatif*, car nous ignorons si la valeur de la susceptibilité magnétique d'un échantillon de roche déterminée au laboratoire est celle que le même échantillon de roche présente quand il est en place. Les avis de plusieurs auteurs sont partagés à ce sujet (143, 73, 123 *bis*); il semble cependant que la valeur trouvée au laboratoire soit de 10 à 15 p. 100 supérieure de celle trouvée sur le terrain d'après l'évaluation des effets topographiques magnétiques (73).

Or, deux facteurs physiques interviendraient *a priori* dans cette évaluation :

1° La pression dont l'effet est nul d'après les expériences d'Adam et de Green (1) et de celles de Steinberger (128);

2° L'effet dû à la présence des éléments radioactifs dans le sol qui est également négligeable d'après des milliers de mesures exécutées par plusieurs auteurs (2).

Action de la température sur le magnétisme des roches.

La physique classique nous révèle l'existence du point de Curie pour la plupart des corps magnétiques. La magnétite pure et non titanifère, naturelle ou artificielle, fournit une discontinuité brutale à 580° C. en ce qui concerne ses propriétés magnétiques. Les enregistrements thermomagnétiques des fers titanés ont donné également tantôt le point de Curie de la magnétite (580° C.), tantôt un point un peu plus bas (550° C.).

La magnétite est d'autant plus rare que la roche est plus acide (granite, gneiss, syénite, rhyolite...); par contre, dans les roches basiques (basalte, gabbro, andésite...) elle est abondante. Dans ces conditions, l'analyse thermomagnétique devient catégorique quant à l'existence qualitative de ces minéraux dans les roches. Ainsi, il est logique d'admettre que quand le magnétisme d'une roche disparaît entièrement à une température bien au-dessous de 550° à 580° C., il est certain que son constituant ferromagnétique est autre que la magnétite ou un titano-magnétite. Allan (9), Chevallier et Pierre (30) et Jacquet (62) ont montré effectivement sur des rhyolites, des trachytes, des andésites et en particulier, sur des basaltes de différentes provenances, que la température de perte de magnétisme de la grande majorité de ces roches volcaniques est comprise entre 500° et 600° C., c'est-à-dire *aussi voisine que possible* du point de Curie de la magnétite et des titano-magnétites. Certes, dans les résultats fournis

(1) VAN ORSTRAND (C. E.) : Temperature in Some Deep Wells in the United States. Washington. *Am. Sc. Journ.*, vol. 9, p. 382, 1919.

— On the nature of Isothermal Surfaces. *Am. J. Sc.*, vol. 5, n° 15, juin 1928, p. 495-519.

DARTON (N. H.) : Geothermal Data of the United States, Including many Original Determinations of Underground Temperature. *U. S. Geol. Survey, bull.* 701, Washington, 1921.

MISER (H. D.) : Temperature of Oklahoma's Deepest Well. *A. A. P. G.*, vol. VIII, 1924, p. 525

ZYEH (S.) et TABOR (A.) : Déterminations géothermiques dans le sondage profond Tesp IV en Kalusz. Institut de Géophysique de l'Université de Lwow (Pologne). *Communications*, vol. 3, n° 32, 1928, p. 886-892.

KÖNIGSBERGER (J.) : Bemerkungen über geothermische Messungen in Bohrungen. *Zeits. d. intern. Bohrtechnikerverbandt*, vol. 35, n° 6, 1927.

BORGER (H.) : Zusammenhang zwischen der Geothermischen tiefenstufe und der wärteleitfähigkeit der Gesteine. *Glückauf. Essen*, vol. 67, n° 17, 1931, p. 545-551.

par ces auteurs, il y a souvent des cas très nets de magnétisme réversible à des températures diverses, mais ces différences proviennent sans doute de l'état physique de la magnétite et des titanomagnétites.

Actuellement, d'après les recherches de Kœnigsberger (74, 75), de Pockels (104), de Grenet (48), de Loewinson-Lessing et Turcev (85) et d'autres auteurs⁽¹⁾, nous sommes en mesure d'admettre que les *propriétés magnétiques des roches* (Magnétisme induit et magnétisme rémanent) *sont bien dues à la prédominance des minéraux ferromagnétiques*, en particulier, de celle de la magnétite. Cette considération est admise également par tous les géologues.

Or, d'après les travaux des géochimistes, Clarke et Washington (31) nous donnent comme composition moyenne de la croûte terrestre jusqu'à une profondeur de 20 kilomètres, les valeurs suivantes :

Roches éruptives (y compris les roches métamorphiques).....	95 p. 100
Sédiments schisteux	4 —
Grès	0,75 —
Calcaires	0,25 —

où la prédominance est due à la présence des roches éruptives. Comme celles-ci sont les principaux réservoirs des éléments ferromagnétiques il est évident *a priori* qu'elles interviennent d'une façon accentuée dans la distribution des anomalies magnétiques régionales à la surface du sol.

Quoique la loi de la variation de la température à l'intérieur de la terre nous échappe, on sait cependant que la valeur moyenne du degré géothermique est de 3° C. pour 100 mètres d'enfoncement jusqu'à une profondeur de 3.500 mètres. Dans ces conditions, l'atténuation importante du magnétisme des roches serait vers $\frac{580 \times 100}{3} = 19$ kilomètres environ, en admettant que le degré géothermique ait conservé sa valeur constante en profondeur. Certainement, au delà de 19 kilomètres les roches conservent nécessairement leur paramagnétisme, mais comme ce dernier est très faible, ses manifestations n'apparaissent que sur des

(1) JOURAVSKY (G.), CHAREZENKO (P.) et CHOUBERT (G.) : Sur le magnétisme rémanent induit des roches éruptives. *C. R. Ac. Sc.*, n° 7, t. CC, p. 541-543, 1935.

continents entiers (anomalies magnétiques continentales); certes, le magnétisme extrêmement faible des roches profondes trouverait une compensation dans des masses énormes, mais dans ce cas, les anomalies magnétiques régionales n'en seraient nullement affectées.

Effectivement, la profondeur des centres des masses perturbatrices que je calcule d'après les anomalies magnétiques régionales de l'Alsace, reste toujours bien faible par rapport à la profondeur de 19 kilomètres. même, en ne retenant cette dernière valeur que comme un ordre de grandeur, il nous montre que les phénomènes magnétiques de la terre sont cantonnés en majeure partie dans ses enveloppes superficielles.

Ainsi, ma carte des isanomales de ΔZ en Alsace trouverait dès ici la justification en vue de son interprétation géologique ultérieure.

CHAPITRE II.

ÉTUDE DU VARIOMÈTRE MAGNÉTIQUE DE HAALCK ET RELATIVE À LA MESURE DE ΔZ .

Cet instrument a été élaboré par H. Haalck en 1927 et a été construit par la maison « Exploration » à Hanovre. Sa théorie analytique (principe et emploi) est donnée d'abord, sans commentaires développés, par Haalck lui-même (52, 53). Dès 1928. M. J. Rothé (*Annuaire de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg*; 1^{re} partie, annexe) nous donne une nouvelle méthode basée sur l'utilisation des graphiques quant aux lectures de ΔZ et de ΔH faites avec cet instrument. Cette méthode qui s'appliquerait avantageusement à l'évaluation des grandes variations, et en particulier dans le cas où l'image de l'échelle sortirait du champ de la lunette, n'a pas été appliquée au cours de ce mémoire, car les valeurs de ΔZ mesurées sont relativement petites dans le cas présent.

Nous trouvons une description détaillée et une théorie complète de ce variomètre (modèle ancien, instrument n° 18) dans un ouvrage de M. E. Rothé (111 bis, p. 33-35) et traduites des publications originales de Haalck. L'auteur y ajoute également quelques remarques personnelles.

Le variomètre n° 36 est d'un modèle plus récent, d'une théorie identique mais d'une construction différente. Le présent chapitre complète mes publications parues dès 1930 (3, 4, 8) sur les



Fig. 1.
Variomètre magnétique de Haalck.

variomètres magnétiques en général, et développe plus particulièrement l'étude du variomètre de Haalck en vue de son utilisation rationnelle sur le terrain.

Cet instrument dont la construction est actuellement arrêtée est très peu connu dans les milieux miniers. Nous ne trouvons guère de *publications scientifiques* à son sujet en dehors de celles énumérées ci-dessus.



Fig. 2.

Utilisation du variomètre comme théodolite magnétique.

En adoptant la nomenclature *classique* de l'instrument (fig. 5) :

M_1 , le moment magnétique de A ;

M_2 , le moment magnétique de B ;



Fig. 3.

L'équipage magnétique de l'instrument ($1/2$ de grandeur naturelle).

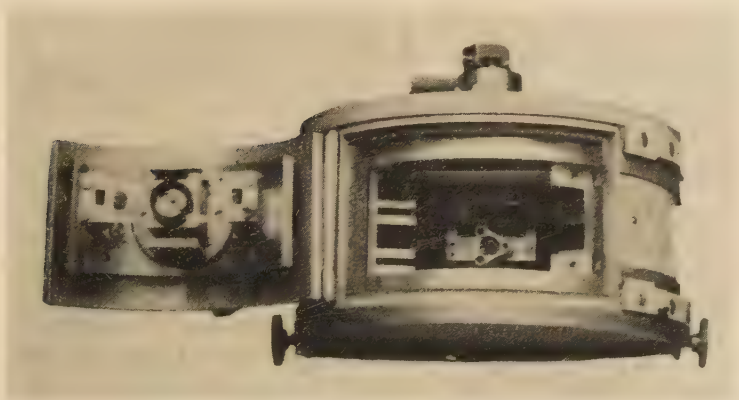


Fig. 4.

L'instrument ouvert ($1/4$ de grandeur naturelle). — Équipage enlevé.

M_3 , le moment magnétique de K (système d'aimants compensateurs à 45°);

M_4 , le moment magnétique de P (aimant compensateur placé au-dessous de l'instrument dans une position verticale);

$\gamma = \widehat{GOB}$, où G est le centre de gravité de l'équipage magnétique de l'instrument, et O son axe d'oscillation avec $c = \overline{OG}$.

D'autre part, soient

α , l'angle d'inclinaison de l'équipage et Q, son poids;

ε , l'angle du plan d'oscillation xOz lié à l'équipage avec l'angle du plan est-ouest magnétique;

f est la distance de l'échelle graduée E de l'objectif de la lunette;

d , la largeur linéaire d'une division de l'échelle;

H et Z les deux composantes locales du champ magnétique terrestre.

Enfin, f_1, f_2, f_3 et f_4 sont des coefficients numériques dépendant de la position relative des deux systèmes K et P.

Dans ces conditions, en une station de mesure, l'équation d'équilibre de l'équipage s'exprime par la relation (fig. 5) :

$$Z (M_2 \cos \alpha - M_1 \sin \alpha) - H \sin \varepsilon (M_1 \cos \alpha + M_2 \sin \alpha) - Qc \cos (\gamma - \alpha) + M_3 (f_1 M_1 + f_2 M_2) + M_4 (f_3 M_1 + f_4 M_2) = 0.$$

Si on déplace l'instrument à la surface du sol, la position d'équilibre de l'équipage, en une nouvelle station, s'exprimera par

$$\begin{aligned} & (M_2 \cos \alpha - M_1 \sin \alpha) \Delta Z - Z M_2 \sin \alpha \cdot \Delta \alpha - Z M_1 \cos \alpha \cdot \Delta \alpha + \\ & + Z \cos \alpha \cdot \Delta M_2 - Z \sin \alpha \cdot \Delta M_1 - H \cos \varepsilon (M_1 \cos \alpha + M_2 \sin \alpha) \cdot \Delta \varepsilon - \\ & - \sin \varepsilon (M_1 \cos \alpha + M_2 \sin \alpha) \cdot \Delta H - H \sin \varepsilon \cdot \cos \alpha \cdot \Delta M_1 - H \sin \varepsilon \sin \alpha \cdot \Delta M_2 - \\ & - H \sin \varepsilon (-M_1 \sin \alpha + M_2 \cos \alpha) \cdot \Delta \alpha - Qc \sin (\gamma - \alpha) \cdot \Delta \alpha - Q \cos (\gamma - \alpha) \cdot \Delta c \\ & + \Delta [M_3 (f_1 M_1 + f_2 M_2) + M_4 (f_3 M_1 + f_4 M_2)] = 0. \end{aligned}$$

où tous les éléments subissent de très petites variations Δ ().

Dès la première station, réglons la position verticale de P de telle sorte que l'on ait $\alpha = 0$; et imposons la condition

$$\Delta [M_3 (f_1 M_1 + f_2 M_2) + M_4 (f_3 M_1 + f_4 M_2)] = 0$$

pour toutes les autres stations, en enlevant K et en bloquant P une fois pour toutes. L'équation d'équilibre de l'équipage prend alors la forme

$$M_2 \cdot \Delta Z - Z M_1 \cdot \Delta \alpha + Z \cdot \Delta M_2 - H \cos \varepsilon \cdot M_1 \cdot \Delta \varepsilon - M_1 \cdot \sin \varepsilon \cdot \Delta H - H \sin \varepsilon \cdot \Delta M_1 - H \sin \varepsilon \cdot M_2 \cdot \Delta \alpha - Qc \sin \gamma \cdot \Delta \alpha - Q \cos \gamma \cdot \Delta c = 0.$$

Posons avec Haalck

$$\Delta\alpha = \frac{n-n_0}{2f} d; \quad \Delta M_2 = +\beta_1 (t-t_0); \quad Q \cos \gamma \cdot \Delta c = -\beta_2 (t-t_0);$$

où β_1 et β_2 sont des constantes, et les variations ΔM_2 et Δc sont supposées proportionnelles à la variation de la température ($t-t_0$). On en déduit

$$\Delta Z = H \frac{M_1}{M_2} \cdot \Delta\epsilon + \frac{n-n_0}{2f} d \cdot \left(\frac{ZM_1 + Qc \sin \gamma}{M_2} \right) + \frac{\beta_1 Z - \beta_2}{M_2} (t-t_0);$$

ou encore

$$\text{avec } \left\{ \begin{array}{l} \Delta Z = k \Delta\epsilon + K (n - n_0) + \mu (t - t_0); \\ k = 0,000291 \cdot H \frac{M_1}{M_2} \text{ (compté en radian);} \\ K = \frac{ZM_1 + Qc \sin \gamma}{M_2} \cdot \frac{d}{2f}; \quad \mu = \frac{\beta_1 Z - \beta_2}{M_2}. \end{array} \right.$$

Par exemple l'instrument que j'ai utilisé comporte

$$\frac{d}{2f} = \frac{0,015 \text{ cm}}{11,4 \text{ cms}} = 0,000658.$$

Cas particuliers. — 1° $\Delta\epsilon = 0$, l'équipage est *exactement* dans le plan de l'est-ouest magnétique; on a

$$\Delta Z = K (n - n_0) + \mu (t - t_0).$$

2° $n = n_0$, l'équipage est au *voisinage immédiat* du plan de l'est-ouest magnétique, sans qu'il coïncide avec ce dernier; on a alors

$$\Delta Z = k \cdot \Delta\epsilon + \mu (t - t_0).$$

Détermination de ΔZ entre deux stations successives.

L'instrument étant réglé à une première station, soit n_0 la lecture correspondante de l'échelle. Entre cette station et la station suivante, on a

$$\Delta Z = K (n - n_0) + \mu (t - t_0) + k \Delta\epsilon;$$

où n et t sont des quantités relatives à la deuxième station.

Supposons que la lecture n soit faite respectivement vers l'ouest et vers l'est, à 180° exactement: on aura (fig. 6) :

$$\Delta Z = K (n_w - n_0) - \mu (t - t_0) - k\Delta\varepsilon;$$

$$\Delta Z = K (n_e - n_0) - \mu (t - t_0) - k\Delta\varepsilon;$$

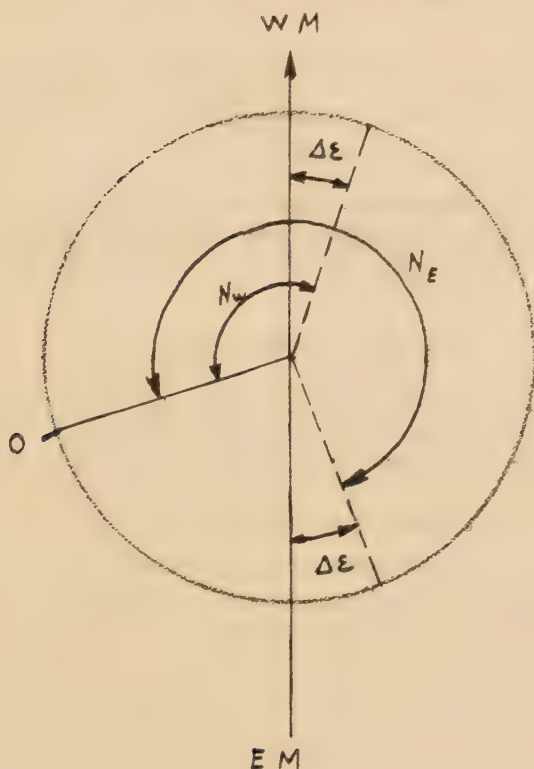


Fig. 1.

d'où

$$\Delta Z = K \left(\frac{n_w + n_e}{2} - n_0 \right) - \mu (t - t_0).$$

Si nous faisons $n_w = n_0$ à toutes les stations de mesure, la formule d'application pour l'évaluation de ΔZ ne devient plus que

$$\Delta Z = k \frac{n_e - n_0}{2} + \mu (t - t_0) - \text{var. diurne}; \parallel$$

où l'on tient compte également de la variation diurne de la composante verticale du champ magnétique terrestre entre la première station et les stations suivantes.

C'est la *formule que j'applique* pour évaluer la valeur de ΔZ pour toutes les stations de ma carte magnétique de l'Alsace.

Détermination des constantes.

Nous trouvons dans les mémoires originaux (52, 53) une description relative à la détermination de K , de $\frac{M_1}{M_2}$ et de μ pour chaque série de mesures. Pendant mes fréquents étalonnages de l'instrument sur le terrain et au Val Joyeux, j'ai appliqué les méthodes élaborées par Haalck, mais en les modifiant le plus souvent.

Étude des causes d'erreurs.

Avant même l'emploi du variomètre magnétique de Haalck sur le terrain, j'ai tenu à étudier les causes d'erreurs susceptibles d'intervenir dans l'évaluation finale de ΔZ en chaque station de mesure.

En effet, ces causes d'erreur sont dues :

- 1° A la mauvaise orientation de l'instrument en azimut ;
- 2° A la mauvaise verticalité de son axe de rotation ;
- 3° A l'inclinaison de l'axe de rotation de l'instrument par rapport à son plateau ;
- 4° A l'influence de la température ambiante sur ses différents organes :

a. Dilatation des différentes parties de l'équipage magnétique :
1° effet sur la valeur de μ ; 2° effet sur la valeur de K .

b. Influence de la température sur les aimants compensateurs.

1° INFLUENCE DE LA MAUVAISE ORIENTATION DE L'INSTRUMENT EN AZIMUT.

Reprenons l'équation générale

$$\begin{aligned} M_2 \cdot \Delta Z - Z M_1 \cdot \Delta \alpha + Z \cdot \Delta M_2 - H \cos \varepsilon M_1 \cdot \Delta \varepsilon - \\ - (M_1 \cdot \Delta H + H \cdot \Delta M_1 + H M_2 \cdot \Delta \alpha) \sin \varepsilon - Q c \sin \gamma \cdot \Delta \alpha - \\ - Q \cos \gamma \cdot \Delta c = 0. \end{aligned}$$

En effectuant deux lectures consécutives, *exactement* à 180° , les nouveaux termes en ε sont

$$\begin{aligned} H \cos (180^\circ + \varepsilon) \cdot M_1 \cdot \Delta\varepsilon &= -H \cos \varepsilon \cdot M_1 \cdot \Delta\varepsilon; \\ -(M_1 \cdot \Delta H + H \cdot \Delta M_1 + H M_2 \cdot \Delta\alpha) \sin (180^\circ + \varepsilon) &= \\ = (M_1 \cdot \Delta H + H \cdot \Delta M_1 + H M_2 \cdot \Delta\alpha) \sin \varepsilon \end{aligned}$$

tandis que les autres termes gardent leurs signes respectifs. Si l'on prend alors la moyenne des deux lectures, à l'ouest et à l'est, les termes en ε disparaissent, et l'effet de la mauvaise orientation de l'instrument en est entièrement éliminé.

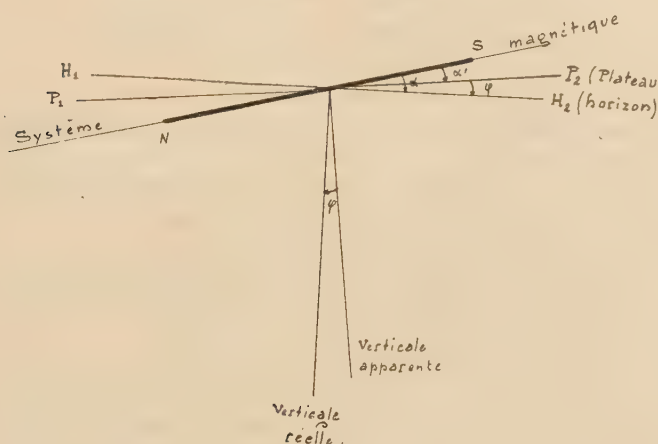


Fig. 7.

2° INFLUENCE DE LA MAUVAISE ORIENTATION DE L'AXE DE ROTATION (fig. 7) :

Soient : φ , cette inclinaison, α et $\alpha' = \alpha - \varphi$, les angles formés par l'axe commun des deux lamelles horizontales de l'équipage, respectivement avec l'horizon et avec le plateau de l'instrument quand ce dernier se trouve dans une orientation bien définie. Si l'on tourne l'instrument exactement à 180° , α reste le même, mais α' passe de $\alpha - \varphi$ à $\alpha + \varphi$. Or, les lectures sur l'échelle graduée correspondant à α' ne sont proportionnelles qu'à α et par suite, l'effet de non verticalité disparaît dans la somme algébrique des deux lectures à l'ouest et à l'est.

3° INFLUENCE DE L'INCLINAISON DE L'AXE DE ROTATION DE L'INSTRUMENT PAR RAPPORT À SON PLATEAU :

Quand on installe le support d'aimants K, son poids fait fléchir l'axe de l'instrument suivant le plan d'oscillation de l'équipage magnétique. Si ξ est l'angle que fait cette nouvelle position de l'axe principal de l'instrument avec la verticale du lieu, sa valeur relative à une erreur de lecture égale à une division de l'échelle graduée, est donnée par

$$\xi = \frac{d}{2a} = \frac{0,015 \text{ cm}}{11,4 \text{ cms}} = 0,000658 \text{ en radian,}$$

soit

$$\xi = 2'15'' \text{ environ,}$$

c'est-à-dire, une erreur de 12 à 15 gammas pour une inclinaison de $\xi = 1'$ d'arc.

Cette erreur disparaît également dans la moyenne des deux lectures à 180° ; car elle reste constante mais change de signe lors de la rotation de l'instrument.

Le système compensateur K n'est employé qu'à la station principale (station-base); l'erreur qui en résulterait éventuellement n'existe donc pas aux autres stations de mesure.

4° INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LES DIFFÉRENTS ORGANES.

a. Dilatation des différentes parties de l'équipage magnétique :

1° *Effet sur la valeur de μ .* — La formule générale relative à l'équilibre de l'équipage de l'instrument contient des termes du premier ordre qui dépendent de la variation de la température ambiante. Ainsi

$$Z \frac{\Delta M_2}{M_2} - \frac{Q \cos \gamma}{M_2} \cdot \Delta c = \mu (t - t_0);$$

ou encore, si on les rapporte à la variation d'un degré centigrade, on obtient :

$$Z \frac{\delta M_2}{M_2} - \frac{Q}{M_2} \cdot \delta a = \mu$$

où :

$$\Delta c \cdot \cos \gamma = \Delta a \text{ (la dilatation en abscisse).}$$

Pour l'Alsace, on a $Z = 0,4$ CGS environ; et les caractéristiques de l'instrument employé sont :

$$M_2 = 1350 \text{ cms}^3; \delta M_2 = 0,256 \text{ cm}^3 \text{ pour } 1^\circ \text{ C d'élévation de température,}$$

de sorte que

$$\frac{\delta M_2}{M_2} = 1,9 \cdot 10^{-4}$$

et comme

$$Q = 75,2 \text{ grammes-masse} = 75,2 \cdot 981 = 73761 \text{ grammes-poids.}$$

Dans ces conditions

$$Z \frac{\delta M_2}{M_2} - \frac{Q}{M_2} \cdot \delta a = -7,6 \cdot 10^{-5} - 5,46 \cdot \delta a = \mu.$$

Pour calculer δa , envisageons l'équation d'équilibre de l'équipage dans sa position horizontale et dans le plan de l'est-ouest magnétique. Ainsi

$$ZM_2 - Q \cdot a = 0.$$

Cette relation conduit à la valeur de

$$a = \frac{ZM_2}{Q} = \frac{0,4 \cdot 1350}{73761} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ cm.}$$

Or, le corps central (en aluminium) et les lamelles (en acier) n'ont pas le même coefficient de dilatation; il s'ensuit donc pour une variation d'un degré centigrade de la température ambiante, une variation δa proportionnelle à la différence

$$13 \cdot 10^{-6} \text{ cm.} \left\{ \begin{array}{l} 23 \cdot 10^{-6} \text{ (coefficient de dilatation de l'aluminium);} \\ 20 \cdot 10^{-6} \text{ (coefficient de dilat. de l'acier au chrome).} \end{array} \right.$$

De sorte que

$$\delta a = 13 \cdot 10^{-6}, a = 13 \cdot 10^{-6} \cdot 7 \cdot 10^{-3} = 91 \cdot 10^{-9};$$

d'où

$$\mu = -7,6\gamma - 0,049\gamma.$$

J'arrive donc à la conclusion suivante : la constante de la température de l'instrument n'est régie que par le terme

$$Z \cdot \frac{\delta M_2}{M_2},$$

et reste relativement constante au cours de la variation de la

température ambiante. Effectivement, j'ai constaté ce fait lors des étalonnages fréquents de l'instrument sur le terrain, au laboratoire et au Val-Joyeux.

Pour une variation de Z de ± 600 gammas (équivalente à un déplacement en latitude de 200 kilomètres environ : Plaine d'Alsace), la variation de μ provenant du terme de $Z \frac{\partial M_2}{M_2}$ est égale à

$$\pm 0,057 \gamma$$

pour une variation d'un degré centigrade de la température ambiante; suivant que l'on est à 100 kilomètres au Nord ou au Sud de la station où l'on a effectué l'étalonnage de μ .

Cette erreur est pratiquement insignifiante; j'ai cru utile cependant de la déterminer pour chaque campagne de mesures. Comme ma carte magnétique de l'Alsace est obtenue par l'assemblage de neuf régions distinctes parcourues à des dates différentes, j'ai exécuté successivement six déterminations de μ et de K que j'ai raccordées à celles faites au Val-Joyeux.

2° *Effet sur la valeur de K .* — Comme la dilatation du corps central et celles des lamelles sont différentes, il s'ensuit avec l'élévation de la température, un système de forces appliquées aux points d'attache à la partie centrale de l'équipage. En effet, pour une variation de 15°C , une différence de 13.10^{-6}cm . peut amener un jeu considérable dans les joints. Ainsi, la section principale d'une lamelle étant $1,3.0,1 = 0,13 \text{ cm}^2$, la tension due à la dilatation thermique suivant cette section est de l'ordre de

$$X = 25.000.0,13.13.10^{-6} = 0 \text{ kg } 0425$$

sur chacune des lamelles, en admettant comme module d'élasticité pour l'acier

$$E = 25.000 \text{ kgs/cm}^2.$$

Sur les deux lamelles horizontales seules (M_2), il se développe alors une tension totale de l'ordre de

$$F = 2.15.0,0425 = 1 \text{ kg } 2675$$

au cours d'une élévation de 15°C de la température ambiante.

Or, pendant le transport de l'instrument, cette tension, favorisée par les trépidations, amène nécessairement des glissements brusques des lamelles par rapport au corps central. Effectivement, lors de mes déplacements à travers des terrains difficiles, j'ai été souvent victime des changements brusques du zéro de l'échelle de l'instrument, dus précisément à ce dérèglement de l'équilibre de l'équipage. Ce fait m'a donc toujours obligé à recommencer l'exécution de toute la série antérieure des stations déjà effectuées.

Quant aux glissements dus à une dilatation similaire des lamelles verticales (M_1), l'influence se fait sentir surtout sur la valeur numérique de la constante K de l'échelle. Mais je constate que cette influence reste pratiquement négligeable. En effet, l'expression

$$k = \frac{d}{df} \left(Z \frac{M_1}{M_2} + Q \frac{b}{M_2} \right)$$

où

$$b = c \sin \gamma$$

est directement proportionnelle à $\frac{M_1}{M_2}$. Or, ce rapport reste sensiblement constant avec la température d'après mes étalonnages effectués au Val-Joyeux. D'autre part, M_2 seul diminue avec l'élévation de la température, et b est précisément atteint par le déplacement du centre de gravité en ordonnées résultant de cette élévation. Dans ces conditions, la sensibilité de l'instrument en souffre nécessairement. Ainsi, pour une variation de 15° C, la valeur de K varie de

$$\begin{aligned} \Delta K &= \frac{d}{f} Q . 15 . \delta \left(\frac{b}{M_2} \right) = \\ &= 0.000658 . 73761 . 15 \frac{M_2 \delta b - b \delta M_2}{M_2^2} . \end{aligned}$$

En admettant alors pour fixer les idées que

$$b = a = 7 . 10^{-3} \text{ et } \delta b = \delta a = 13 . 10^{-6}$$

on aura

$$\Delta K = 0,8 \text{ gamma.}$$

qui est effectivement une *quantité négligeable* pour la pratique devant une valeur de

$$K = \text{de } 20 \text{ à } 30 \text{ gammas.}$$

b. *Influence de la température ambiante sur les aimants compensateurs.*

Sur le terrain, les différentes parties du variomètre Haalck ne se trouvent pas dans les mêmes conditions thermiques. En effet, les systèmes d'aimants compensateurs K et P comportent des enveloppes dont l'isolement thermique contre les variations rapides de la température ambiante n'est nullement aussi étanche que celui de l'instrument. En particulier, le barreau aimanté P, solidaire de l'instrument pendant toute la durée d'une campagne de mesures, est simplement placé dans une enveloppe mince en laiton, soumis à toutes les variations *brusques* de la température ambiante. Or, l'équipage magnétique, bien isolé dans le boîtier de l'instrument, ne suit ces variations qu'avec un retard de 20 à 30 minutes suivant l'emplacement de la station de mesure (à l'ombre, au soleil, soumis ou non à un courant d'air, abrité dans une forêt, en plein air). En hiver, le temps étant généralement couvert, je constatais, une fois l'équilibre thermique de l'instrument atteint, que ce décalage restait pratiquement nul.

Mais, par contre, en été, entre 10 heures et 16 heures, il variait de 1° à 2° C; l'erreur commise sur l'évaluation exacte du résultat définitif d'une mesure pouvait donc devenir tout à fait appréciable.

En effet, la variation de la composante verticale du champ produit par P en A ou en B (fig. 8), en fonction de la température est donnée par

$$\delta Z = q \left[\frac{1}{x^2 + y^2} \cdot \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} - \frac{1}{x^2 + (y + a)^2} \cdot \frac{y + a}{\sqrt{x^2 + (y + a)^2}} \right] \alpha \cdot t.$$

Or, pendant toute la campagne de l'exécution des stations, l'ordre de grandeur des différents facteurs de cette relation a été

$$q = \frac{M_0}{a} = \frac{750 \text{ cms}^3}{5 \text{ cms}} = 150 \text{ cms}^2.$$

$$x = 4 \text{ cms.} \quad y = 32,5 \text{ cms.} \quad \alpha = 2 \cdot 10^{-4}; \quad t = 2^\circ \text{C.}$$

conduisant ainsi à une incertitude sur la valeur finale des résultats d'une quantité de

$$\delta Z = 1 \text{ à } 1,5 \text{ gamma.}$$

D'ailleurs, quand les conditions atmosphériques sont bonnes, cette erreur est systématique, et elle est commise toujours dans

Dans ces conditions, je crois que la méthode de détermination de μ qui consisterait à chauffer l'instrument (chauffage par résistance ou par circulation de vapeur d'eau) et à effectuer les lectures sur l'échelle graduée au cours du refroidissement (de 50°C à 25°C), est défectueuse, puisque le système P reste à une température voisine de 20°C pendant toute la durée de l'étalonnage.

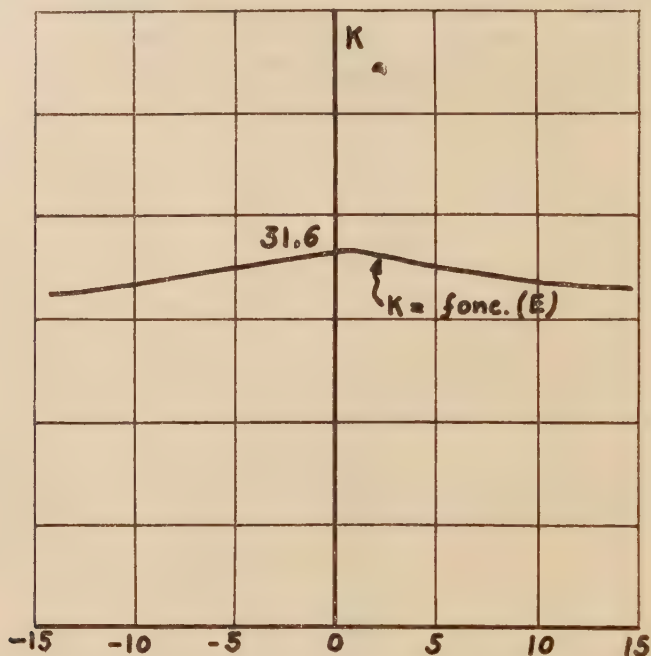


Fig. 9.

Effet de l'état du tranchant du couteau sur la valeur de K

Le tranchant du couteau d'une section triangulaire, étant la partie la plus délicate de l'équipage magnétique, j'ai pensé qu'à *priori* la constante de l'échelle K ne doit pas avoir nécessairement la même valeur pour les différentes parties de l'échelle graduée, car, la distance du centre de gravité de l'équipage de son axe d'oscillation varie quand il s'incline.

J'ai donné donc à l'équipage des inclinaisons décroissantes par un déplacement continu du système P. Puis, pour chaque position particulière de celui-ci, j'ai déterminé K par la méthode galvanométrique pour en tracer la courbe.

K = fonction (E),

où E est l'inclinaison de l'équipage magnétique en divisions de l'échelle. La courbe représentative des résultats (fig. 9) est légèrement dissymétrique par rapport à l'axe des ordonnées, et me montre que K diminue quand on a de fortes inclinaisons de l'équipage. En d'autres termes, la sensibilité de l'instrument augmente légèrement avec l'inclinaison.

E.	K.	E.	K.
0	31,6	0	31,6
+ 5	31,4	— 5	31,2
+ 10	31,0	— 10	30,8
+ 15	30,6	— 15	30,4

Détermination des constantes.

1° DÉTERMINATION DE μ :

1° *Au laboratoire.* — A cet effet, j'ai chauffé progressivement la pièce destinée aux essais, par deux radiateurs électriques branchés sur le circuit alternatif de la ville. D'autre part, j'ai associé à l'instrument un variomètre de contrôle mis aimablement à ma disposition par Askania-Werke de Berlin. C'était une balance Lloyd-Schmidt pour la composante verticale (Instr. n° 97122) comportant le nouveau type d'équipage magnétique dont les constantes ($K_1 = 30,0$ gammas; $\mu_1 = 0,03$ gamma; lamelles n°s e30 et e31) avaient été rigoureusement déterminées à Potsdam, le 6 juillet 1931.

Ces déterminations ont été effectuées toujours au cours de la nuit, de 22 heures à 1 heure, afin d'éliminer éventuellement l'action des champs électromagnétiques parasites (usine, tramway).

A un même instant, les indications simultanées des deux variomètres s'exprimaient par le système

$$\Delta Z = K_1 n_1 + \mu_1 \cdot \Delta t - \text{var. diurne};$$

$$\Delta Z = K n + \mu \cdot \Delta t - \text{var. diurne}.$$

qui conduit à la relation

$$\mu = \frac{Kn - K_1 n_1}{\Delta t} \mu_1;$$

où tous les termes sont connus sauf μ .

Je résume dans le tableau I tous mes résultats de mesure. Je constate que :

1° L'évaluation de μ est d'autant moins précise que la variation de la température (t_0 étant la température initiale et relative à un état d'équilibre thermique de l'instrument) est plus faible. Il faut donc effectuer toujours la détermination de μ relativement aux valeurs élevées de Δt .

2° Une erreur accidentelle de 0,1 division commise sur la lecture n'amènerait une indétermination sur la valeur numérique de μ de l'ordre de 0,3 pour une variation de 10° C à partir de la température initiale t_0 . Il faut donc attacher une importance capitale à la précision des lectures de l'échelle pendant un étalonnage de μ .

A part des deux valeurs exceptionnelles obtenues lors de l'essai du 6 avril 1934 (dont la moyenne arithmétique est cependant satisfaisante), je constate une homogénéité parfaite dans l'ensemble des résultats résumés dans le tableau I.

2° *Détermination de μ à l'air libre au Val-Joyeux.* — L'instrument étant installé en plein air, un thermomètre au dixième était suspendu à son trépied. J'ai marqué ainsi la température ambiante en même temps que les indications des deux thermomètres de l'intérieur du boîtier de l'instrument. Je résume dans les tableaux II et III les résultats que j'ai obtenus à la station magnétique du Val-Joyeux à la suite de cette détermination, dans les journées du 13 et du 14 juin 1933. Je constate :

a. Qu'il ne faut jamais effectuer un étalonnage de μ au soleil, mais toujours à l'ombre. En effet, pendant que la température extérieure reste sensiblement constante, celle de l'instrument s'élève continuellement dans de larges limites (détermination du 13 juin 1933);

b. Par contre $(\Delta t)_{app.}$ et $(\Delta t)_{ext.}$ restent sensiblement équivalents à l'ombre. Il y a cependant un décalage presque constant entre ces deux indications, de 20 à 30 minutes de temps. C'est

TABLEAU I.

Détermination du coefficient de la température μ : Étalonnage au laboratoire.(Instrument réglé $n = 0$, quand t croît n décroît, croissance en sens inverse.)

Fenêtres II à VII.																	
DATE et COEFFICIENT de temp.		n	t	h	n	t	h	n	t	h	n	t	h	n	t	h	OBSERVATIONS.
13-7-1931. μ avec K=31,4		-0,5	22°	22 ^h 10	-1,2	24°9	22 ^h 30	-2,5	30°	23 ^h 00	-3,7	35°	23 ^h 30	-5,0	40°	24 ^h 00	Le variomètre est mis en équilibre dans le plan EW magnétique à 29° et à une température de 20° C indiquée par les thermomètres de la pièce et de l'instrument.
7,85		7,69			7,85			7,74			7,85			7,85			
Moyenne arithmétique : 7,8.																	
11-9-1931. μ avec K=31,4		-0,7	17°8	21 ^h 30	-1,5	21°1	22 ^h 05	-3,0	27°1	22 ^h 45	-4,0	31°	23 ^h 30	-4,5	33°4	24 ^h 10	Équilibre à 21° et à une température de 15° C.
7,85		7,72			7,78			7,85			7,68			7,85			
Moyenne arithmétique : 7,8.																	
Fenêtre I.																	
24-3-1933. μ avec K=26,6		-0,6	16°1	23 ^h 30	-1,5	18°4	24 ^h 00	-1,7	19°9	0 ^h 35	-2,1	21°2	1 ^h 00	-2,4	22°2	1 ^h 25	Équilibre à 23° et à une température de 14° C. (On n'a utilisé qu'un seul radiateur pour le chauffage de la pièce.)
7,60		7,80			7,65			7,76			7,78			7,64			
Moyenne arithmétique : 7,7.																	
Fenêtre VIII.																	
20-11-1933. μ avec K=23,8		-0,3	10°9	23 ^h 00	-1,0	13°1	23 ^h 40	-2,2	16°8	24 ^h 35	-2,6	18°	1 ^h 05	-3,2	20°	2 ^h 30	Équilibre à 23°40 et à 10° C. (Un seul radiateur.)
7,93		7,68			7,7			7,74			7,62			7,62			
Moyenne arithmétique : 7,7.																	
Fenêtre IX.																	
6-4-1934. μ avec K=37,2		-0,2	14°	24 ^h 00	-0,8	16°8	24 ^h 50	-1,4	20°	1 ^h 20	-2,1	23°	2 ^h 00	-2,4	23°	7,81	Équilibre à 23°35 et à 13°. (Deux radiateurs.)
7,44		7,83			7,58			7,81			7,81			7,81			
Moyenne arithmétique : 7,7.																	

FEUILLES II à VII.

FEUILLE I.

FEUILLE VIII.

FEUILLE IX.

la durée nécessaire pour que l'instrument atteigne un état d'équilibre thermique imposé par un milieu dont la température diffère de la sienne.

Comme

$$\Delta Z = K n + \mu \cdot \Delta t - \text{var. diurne} = 0.$$

pour une station fixe, je déduis la valeur de μ aux différentes heures de la journée, d'après

$$\mu = \frac{\text{var. diurne} - K n}{\Delta t}.$$

TABEAU II.

a. Détermination de μ à l'air libre au Val Joyeux (dans le soleil).
13 juin 1933.

n avec n_0 = 0.	Kn avec K = 23,0.	t app.	t ext.	h (TMG).	VAR. DIURNE (Val- Joyeux).	Δt (APPA- REIL).	μ .	OBSERVA- TIONS.
0	0	22° 0	20° 8	12° 00	0	0	—	Moyenne
- 0,7	- 16,1 γ	23° 9	20° 7	12° 15	- 1 γ	+ 1° 9	7,90	arithmétique :
- 1,0	- 23,0	24° 9	20° 7	12° 30	- 1	+ 2° 9	7,58	7,65.
- 1,3	- 29,9	26° 0	20° 8	13° 00	+ 1	+ 4° 0	7,73	(Valeur satis-
- 1,3	- 29,9	26° 0	19° 8	13° 15	+ 2	+ 4° 0	7,73	faisante vu
- 0,2	- 4,6	24° 0	18° 2	13° 45	+ 10	+ 2° C	7,30	les grandes
+ 0,3	+ 6,9	22° 0	16° 8	14° 15	+ 8	0	—	causes d'er-
								reurs.)

TABEAU III.

b. Détermination de μ à l'air libre au Val Joyeux (dans l'ombre).
14 juin 1933.

n avec n_0 = 0.	Kn avec K = 23.	t app.	t ext.	h (TMG).	VAR. DIURNE (Val- Joyeux).	Δt (APPA- REIL).	μ .	OBSERVA- TIONS.
0	0	18° C.	20° C.	10° 30	0 γ	0	—	Moyenne
- 0,8	- 18,4 γ	20° 1	21° 4	11° 00	- 2	+ 2° 1	7,81	arithmétique :
1,1	25,3	21° 0	22° 0	11° 30	- 2	+ 3° 0	7,76	7,6955.
1,4	32,2	21° 9	22° 2	11° 45	- 2	+ 3° 9	7,74	(Résultat ex-
1,5	34,5	22° 1	21° 6	12° 15	- 3	+ 4° 1	7,68	cellent. Con-
1,4	32,2	22° 0	21° 6	12° 45	- 2	+ 4° 0	7,55	cordance par-
- 1,1	25,3	21° 4	20° 6	13° 30	+ 1	+ 3° 4	7,74	faite avec
- 0,9	20,7	20° 8	20° 4	13° 45	+ 1	+ 2° 8	7,75	ceux obtenus
0,7	- 16,1	20° 5	20° 0	14° 00	+ 3	+ 2° 5	7,64	au laboratoi-
- 0,7	- 16,1	20° 9	23° 2	14° 30	+ 6	+ 2° 9	7,62	re, à l'École
1,3	29,9	23° 0	23° 5	15° 00	+ 8	+ 5° 0	7,73	du Pétrole de
- 1,4	32,2	23° 4	21° 0	15° 15	+ 9	+ 5° 4	7,63	Strasbourg.

II^e DÉTERMINATION DE K.

J'ai déterminé K au début et à la fin de chaque série de mesures. Suivant la région de la carte, j'ai fait varier à volonté sa valeur numérique en réagissant sur la distance qui sépare le centre de gravité de l'équipage de son axe d'oscillation. Ainsi, pour les grands déplacements en latitude (Vosges), j'ai choisi une grande valeur de K afin que l'image de l'échelle graduée ne sorte pas du champ aux stations très éloignées de la base (Brunswickersheim). Par contre, pour la Plaine d'Alsace (feuilles de I à VII), j'ai gardé pour K une valeur comparable à celle réglée par le constructeur au moment de la livraison de l'instrument.

En effet, on sait qu'en diminuant la valeur numérique de b , on augmente la sensibilité de l'instrument, mais on s'approche d'un état d'équilibre de plus en plus instable de l'équipage magnétique. Par tâtonnements, j'ai tâché donc de ne jamais dépasser certaines limites afin d'avoir des valeurs de b et de K suffisamment petites et en même temps un équilibre stable de l'équipage.

Le tableau IV donne les résultats de mes étalonnages de K sur le terrain. On y remarque en particulier que les deux méthodes de détermination (méthode de Gauss et méthode galvanométrique)

TABLEAU IV.

Détermination de K.

DATE.	HEURE au moment de la mesure.	VALEUR DE K.		STATION D'ÉTALONNAGE.	FORMULES APPLIQUÉES.
		Méthode de Gauss.	Méthode galva- nomètre		
12-7-1931..	12 ^h 30	31,41	31,38	Base.	1 ^o MÉTHODE DE GAUSS. $K = \frac{0,000291 \cdot \frac{M_1}{M_2} \cdot H}{n - n_0} \delta$ avec $\delta = 60'$ d'arc.
8-10-1931..	11 ^h 40	31,45	31,43	Base.	
21-3-1933..	10 ^h 20	26,5	26,6	B ₂	
13-6-1933..	12 ^h 35	23,0	23,1	Val-Joyeux.	
18-11-1933.	11 ^h 10	23,6	24,0	Brunswickersheim.	2 ^o MÉTHODE GALVANOMÉTRIQUE. $K = \frac{9i}{n_o - n_i}$
6-4-1934...	13 ^h 05	37,3	37,1	Brunswickersheim.	

TABEAU V.

Détermination de $\frac{M_1}{M_2}$ au Val-Joyeux.

DATE.	MÉTHODE DE GAUSS.		MÉTHODE GALVANOMÉTRIQUE.		TEMPÉRATURE.		HEURE.	STATION	FORMULE APPLIQUÉE.
	Méridien magnétique - δ .	Méridien magnétique + δ .	C' direct.	C' inverse.	t app.	t ext.	DÉBUT.	FIN.	
13 6-1933...	+ 12,6	- 13,4	+ 46,6	- 3,0	19° 3 C.	19° 4 C.	12 ^h 25	12 ^h 45	D'après : $0,000931 \frac{M_1 \cdot H}{n - n_0} \frac{1}{\frac{M_2}{n_0} \cdot \frac{1}{n_1}}$ ou trouve : $\frac{M_1}{M_2} = 0,87.$

ne conduisent pas toujours à la même valeur de K . Il est donc recommandable d'appliquer, dans la pratique, les deux méthodes simultanément et de prendre la moyenne arithmétique des résultats respectifs.

III^e DÉTERMINATION DE $\frac{M_1}{M_2}$.

Au moment de la livraison de l'instrument en mai 1928, le constructeur indiquait comme valeur de $\frac{M_1}{M_2} = 0,86$.

Lors de mon étalonnage au Val-Joyeux, il était intéressant de connaître s'il n'y a pas eu un changement appréciable dans ce rapport par une désaimantation inégale des deux paires de lamelles au cours de plusieurs années d'usage de l'instrument. Le tableau V résume les résultats que j'ai obtenus à ce sujet au Val-Joyeux.

Comme ce rapport est resté constant avec le temps, on peut en conclure que les lamelles ont gardé ou bien leur aimantation primitive, ou encore, elles se sont désaimantées de la même façon.

CHAPITRE III.

MÉTHODE DE TRAVAIL SUR LE TERRAIN.

EXÉCUTION DES MESURES.

J'ai travaillé sur la carte topographique au 80.000°. La superficie soumise à mes mesures s'étend sur plus de 6.000 kilomètres carrés. Elle est limitée :

A l'Est par le Rhin;

A l'Ouest par Sarrebourg, Saint-Dié, Rimbach;

Au Nord par Wissembourg, Niederbronn, Drulingen;

Au Sud par Mulhouse.

Ses limites géographiques sont :

$$\begin{array}{lcl} \text{Latitude nord} & \left\{ \begin{array}{l} 47^{\circ}45' \\ \text{et} \\ 49^{\circ} \end{array} \right. & \text{Longitude est} \left\{ \begin{array}{l} 4^{\circ}40' \\ \text{et} \\ 5^{\circ}50' \end{array} \right. \end{array}$$

L'ensemble de la carte est obtenu par le raccordement de 9

feuilles au 80.000° exécutées à différentes dates. Elles correspondent aux régions de :

1° Pechelbronn, 2° Haguenau, 3° Strasbourg, 4° Erstein, 5° Sélestat, 6° Colmar, 7° Ensisheim, 8° Saverne-Sarrebourg, 9° Vosges.

Une station judicieusement choisie au milieu de chacune d'elles m'a servi comme station-base. Quand la région était suffisamment vaste (par exemple la feuille de Pechelbronn), j'ai adopté deux stations-bases décalées par rapport au centre d'une même feuille que j'ai rapportées l'une à l'autre par des opérations ultérieures.

La distance mutuelle des stations varie de 2 à 4 kilomètres pour le réseau de la Plaine d'Alsace ; elle est égale à une dizaine de kilomètres pour celui des Vosges. Je me suis déplacé entre les stations en voiture automobile appropriée pour ce service : légère, puissante et suffisamment petite afin de parcourir aisément des pentes accentuées et des sentiers plus ou moins étroits ou boueux.

La part due au temps de déplacement était environ d'une demi-heure pour la plaine et d'une heure pour les Vosges, avec une moyenne de 12 stations par jour pour le premier cas et de 6 stations par jour pour le second cas. J'ai travaillé sans interruption de 10 heures jusqu'à 18 heures environ.

Pour une exécution rationnelle des mesures et surtout pour faciliter l'interprétation géologique des résultats, la régularité dans la distribution des stations était primordiale. Or, cette régularité dépendait en majeure partie des facilités offertes par le terrain. Il m'arrivait donc souvent pour combler les lacunes de la carte, de transporter l'instrument à la main sur plusieurs kilomètres à travers des zones marécageuses infranchissables pour une voiture (par exemple la région du Ried).

Comme emplacement des stations, je l'ai choisi toujours à l'intérieur des prairies ou des forêts à plus de 100 mètres de distance des routes, car la circulation, les conduites d'eau, les installations de transport de l'énergie électrique et les lignes télégraphiques ou téléphoniques pouvaient entraver la précision des mesures. Cet emplacement sur la carte topographique originale étant à 0,5 millimètre près, l'erreur totale qui s'ensuit atteint de 80 à 100 mètres. Les stations sont donc marquées sur la carte originale des isanomales magnétiques à ± 50 mètres près environ.

Les différentes séries de mesures effectuées sur le terrain s'échelonnent sur une durée de plus de trois ans, en 1931, 1933, fin 1934 et été 1935. Avant de les commencer, je déterminais d'abord les constantes de l'instrument aux stations-bases de chacune des feuilles, pour le mettre ensuite en équilibre en ces stations sur la valeur locale de Z. Pour des raisons de sensibilité, j'ai utilisé toujours un barreau dont le moment magnétique a été le plus petit possible.

L'étalonnage préliminaire de l'instrument a été fait au laboratoire. En effet, avant d'aller sur le terrain, j'ai eu soin de régler approximativement l'équipage magnétique à sa position d'équilibre en agissant sur les trois vis du corps central qui dictent ainsi la position de son centre de gravité.

Exécution des mesures.

1° *Valeurs brutes.* — Une fois l'instrument réglé sur la valeur locale de Z à une station-base, j'ai effectué les opérations nécessaires à toutes les stations de chaque feuille, pour en déduire

$$\Delta Z = K \left(\frac{n_w + n_e}{2} - n \right) + \mu (t - t_0) - \text{var. diurne.}$$

En imposant à chaque opération

$$n_w = n_0,$$

j'ai appliqué pour chaque station la formule :

$$\Delta Z = K \left(\frac{n_e - n_0}{2} \right) + \mu (t - t_0) - \text{var. diurne};$$

où n_0 , t_0 se rapportent à la station-base et caractérisent la lecture de l'échelle graduée et celle de la température à cette station, et n_w , n_e et t sont les mêmes grandeurs à une des stations de mesure. La variation diurne est déduite de celle enregistrée à la station magnétique du Val-Joyeux aux dates et aux heures de chacune des mesures. Elle est interpolée linéairement le cas échéant pour les heures intermédiaires;

2° *Valeurs corrigées.* — J'ai effectué la correction relative au déplacement en latitude et en longitude d'une façon graphique à partir de chaque station-base. Le système de référence est une

série de parallèles équidistantes et inclinées de $9^{\circ}45'$ W par rapport aux parallèles géographiques. L'intervalle mutuel des parallèles est de 6 gammas ($6 \cdot 10^{-5}$ CGS). Les valeurs brutes sont donc corrigées par l'intermédiaire de ce graphique simple, et les valeurs ainsi trouvées sont les anomalies magnétiques pour chacune des feuilles par rapport à la station-base correspondante.

3° *Raccordement des feuilles.* — J'ai exécuté un profil le long de la Plaine d'Alsace pour raccorder toutes les stations-bases à une même base qui est celle de la feuille de Sélestat. J'ai réalisé ainsi la carte des anomalies magnétiques de la composante verticale de l'Alsace rapportée à une même base (Sélestat).

4° *Tracé des isanomales magnétiques.* — Le tracé des isanomales est fait par interpolation entre les valeurs de ΔZ ainsi trouvées en différentes stations. Leur intervalle mutuel est de 10 gammas. Pour faciliter l'interprétation géologique de la carte des isanomales (planche II), je lui adjoins également la carte des profils magnétiques NS (planche III).

Le présent réseau magnétique comporte au total 506 stations de mesure (y compris les 8 stations-bases). J'ai effectué également 12 stations supplémentaires au-dessus du massif de péridotite du col des Bagenelles (Vosges); d'abord avec le variomètre Haalck (6 stations), et ensuite, avec la balance magnétique Lloyd-Schmidt (1) pour la composante verticale (6 stations). Mon but était de comparer mutuellement les données de ces deux sortes d'instruments sur un même accident géologique.

5° *Raccordement des bases.* — J'ai raccordé les stations-bases par un profil longitudinal exécuté les 29 et 30 octobre 1932. Le schéma ci-contre indique l'itinéraire que j'ai adopté. L'instrument étant réglé à la base de Sélestat, j'ai effectué le double trajet Base- B_1 et Base- B_6 en passant par les stations-bases intermédiaires. Les résultats définitifs de ce raccordement sont :

Base.	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
0...	+ 20	0	+ 71	+ 92	0	+ 70

Les feuilles VIII (Saverne-Sarrebourg) et IX (Vosges) comportent comme station-base la station de mesure de Bruschwicker-

(1) Balance magnétique Askania, n° 136109, modèle récent. Sorti de l'usine le 28 février 1935

sheim. J'ai inséré dans le tableau général des anomalies son raccordement avec la base de Sélestat.



Erreurs probables commises dans l'évaluation des anomalies.

1° *Erreurs systématiques.* — Ces erreurs sont dues à la dilatation et à la contraction inégales des différentes parties de l'équipage magnétique par la variation de la température ambiante. Il s'ensuit alors une très faible dislocation de ce système qui introduit un changement de zéro dans la lecture de l'échelle. En d'autres termes : le soir, au retour à la station-base, l'instrument mis exactement dans les mêmes conditions que le matin, ne comporte plus le même zéro de l'échelle graduée. J'ai corrigé cette erreur d'une façon linéaire en la répartissant sur les données de toutes les stations de la journée. Elle reste d'ailleurs au maximum égale à une dizaine de gammas.

2° *Erreurs accidentelles.* — Elles sont dues au déplacement brusque du centre de gravité de l'équipage magnétique par les chocs subis par l'instrument pendant le transport. Ce déplacement est très vite constaté puisque l'équilibre de l'équipage est immédiatement rompu. Il ne me restait plus qu'à revenir à la station-base et de recommencer toute la série de mesures.

3° *Erreurs personnelles* (3, 4). — J'ai évité de choisir l'emplacement des stations sur une pente, sur une route, sur une pelouse ou sur un sol mou. Avant les opérations, je m'assurais toujours si l'instrument était bien stable quand je tournais inévitablement autour de lui pendant les mesures. J'ai évité également les emplacements soumis à l'action directe du soleil ou du vent. En particulier, pour le choix des stations-bases, je m'assurais d'avance si ces stations restaient bien à l'ombre et à l'abri du vent pendant la journée entière.

4° *Précision des mesures.* — *a.* L'erreur absolue que j'ai pu me tolérer dans l'évaluation des résultats ne dépasse pas 6 gammas. Cette erreur éventuelle se répartit de la manière suivante :

2 à 3 gammas sur la lecture de l'échelle graduée (appréciation d'un dixième de division);

0,5 à 1 gamma sur la lecture des thermomètres;

1 à 2 gammas dans l'évaluation de la variation diurne qui ne doit pas être exactement la même en Alsace que celle du Val-Joyeux;

b. Pour apprécier cependant la précision de mes résultats, j'ai effectué fréquemment des doubles mesures aux mêmes stations à des intervalles très peu différents. Ainsi, si

$$\Delta Z_1, \Delta Z_2, \Delta Z_3, \dots \Delta Z_n,$$

$$\Delta Z'_1, \Delta Z'_2, \Delta Z'_3, \dots \Delta Z'_n,$$

sont les deux séries de mesures aux stations 1, 2..., n ; en cherchant les différences

$$\varepsilon_1 = \Delta Z_1 - \Delta Z'_1, \quad \varepsilon_2 = \Delta Z_2 - \Delta Z'_2, \dots, \quad \varepsilon_n = \Delta Z_n - \Delta Z'_n$$

qui sont des erreurs relatives commises à ces stations; j'ai calculé pour une série de mesures, l'erreur quadratique moyenne qui en résultait

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2}}{n}$$

et je leur ai astreint la condition pour que

$$\varepsilon \leq 6 \text{ gammas.}$$

TABLEAU VI.

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_2 + n_0}{2} - n_0 \right)$ avec $n_0 = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE (V. J. - V. J. V.).	DATE.	B_1 et B_2 CHACUN PLUS ÉGAL À ZÉRO.	B_1 SEUL PLUS ÉGAL À ZÉRO.
B											
1	-	10,5	+	2,4	+	18,5	10 00	2	Le 28 mars 1933.	0	0
2	-	7,1	+	4,8	+	37,0	11 30	1		36	36
3	-	75,2	+	6,0	+	46,2	12 30	4		30	30
4	+	49,4	+	4,6	+	35,4	13 20	14		18	18
5	+	66,8	+	6,0	+	46,2	14 40	19		99	99
6	+	10,3	+	5,8	+	44,7	15 45	25		36	36
7	+	23,6	+	4,6	+	35,4	17 00	26		34	34
B'	+	9,7	-	2,5	+	19,3	17 45	12	Le 30 mars 1933.	3	3
8	+	27,4	-	2,0	+	15,4	9 10	2		0	25
9	+	4,5	+	0,2	+	1,5	10 00	0		4	29
10	-	77,8	+	4,0	+	30,8	10 45	0		47	22
11	-	118,1	+	5,6	+	43,1	12 05	3		75	50
12	-	162,9	+	7,0	+	53,9	12 45	6		112	87
13	-	138,4	+	7,2	+	55,4	13 20	10		89	64
14	-	118,0	+	6,5	+	50,0	14 00	17		78	53
15	-	111,5	+	5,0	+	38,5	14 45	20		90	65
16	-	84,4	+	4,6	+	35,4	15 35	20		69	44
17	-	73,4	+	4,6	+	35,4	16 15	21		58	33
18	-	69,8	+	4,0	+	30,8	17 00	21		60	35
19	+	74,3	+	2,5	+	19,3	17 40	4	Le 31 mars 1933.	76	51
20	-	12,8	-	4,0	-	30,8	10 15	2		22	3
21	-	35,3	-	1,0	-	7,7	11 15	0		45	20
22	-	58,3	+	1,0	+	7,7	12 30	4		66	41
23	-	72,2	+	1,2	+	9,2	13 10	3		68	43
24	-	83,0	+	1,3	+	10,0	14 00	7		76	51
25	-	64,9	+	0,5	+	3,9	14 40	9		68	43
26	-	78,6	+	0,6	+	4,6	15 10	12		83	58
27	-	48,9	-	0,4	-	3,1	16 00	11		64	39
28	-	26,3	-	1,0	-	7,7	16 50	1		45	20
29	+	2,4	-	2,0	-	15,4	11 15	1		14	11
30	-	5,2	-	4,0	-	30,8	10 45	1		37	12
31	-	108,3	+	0,3	+	2,3	12 30	2		105	80
32	-	82,5	+	0,2	+	1,5	13 05	2		79	54
33	-	41,5	+	0,2	+	1,5	13 40	0		38	13
34	-	79,1	+	0,4	+	3,1	14 30	2		76	51
35	-	45,3	-	6,2	-	47,7	10 35	2		91	66
36	-	55,7	-	6,4	-	49,3	11 15	2		103	78
37	-	69,4	-	6,7	-	51,6	12 00	0		121	96
38	-	36,2	-	6,6	-	50,8	12 45	2		89	64
39	+	27,7	-	6,2	-	47,7	13 35	3		23	2
40	+	65,8	-	6,6	-	50,8	14 30	6		9	34
41	+	71,2	-	6,0	-	46,2	15 20	12		13	38
42	+	63,4	-	5,9	-	45,4	16 15	18		0	25
43	+	62,5	-	6,3	-	48,5	16 50	20		6	19
44	+	48,3	-	6,4	-	49,3	17 20	8		21	4
45	-	33,5	+	0,2	+	1,5	9 40	6		40	15
46	-	36,1	+	0,4	+	3,1	10 10	2		39	14
	-	23,3	+	1,6	+	12,3	11 00			13	12

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n_W}{2} - n_0 \right)$ AVEC $n_W = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEI RE.	VAR. DIURNE (VAL-JOUEVA).	DATE.	R_1 et R'_1 DIACUN PRIS ÉGAL À ZÉRO.	R_1 SEUL PRIS ÉGAL À ZÉRO.
47		7,6	+	1,5	+	11,6	11 35	1		+	28
48		5,6	+	2,0	+	15,4	15 10	10		+	36
49		6,3	+	1,6	+	12,3	12 05	0		+	31
50		27,4	+	2,0	+	15,4	14 35	7		+	6
51		42,0	+	2,6	+	20,0	13 45	2		+	1
52		19,8	+	1,4	+	10,8	15 45	12		+	4
53		2,5	+	0,2	+	1,5	16 40	14		+	10
54		38,7	+	1,0	+	7,7	17 25	16		+	40
55		20,3	+	2,3	+	17,7	9 30	22		+	35
56		35,4	+	0,6	+	4,6	10 10	19		+	34
57		56,3	+	2,5	+	19,3	11 25	7		+	19
58		84,5	+	2,4	+	18,5	12 05	0		+	41
59		96,3	+	2,5	+	19,3	12 40	1		+	53
60		125,2	+	3,4	+	26,2	13 20	5		+	79
61		163,3	+	4,2	+	32,3	14 20	12		+	118
62		149,8	+	4,0	+	30,8	14 55	17		+	111
63		109,0	+	3,5	+	27,0	15 30	19		+	76
64		129,6	+	3,2	+	24,6	16 05	22		+	102
65		111,3	+	2,5	+	19,3	16 45	26		+	93
66		91,1	+	0,4	+	3,1	17 30	29		+	92
67		36,8	+	2,7	+	20,8	10 00	6		+	3
68		0,5	+	0,2	+	1,5	14 00	2		+	22
69		13,3	+	1,0	+	7,7	14 30	5		+	1
70		38,6	+	0,6	+	4,6	15 15	9		+	50
71		61,1	+	0,4	+	3,1	15 50	10		+	73
B ₁		7,2	+	1,4	+	10,8	9 00	18		+	0
72		33,7	+	1,0	+	7,7	9 45	13		+	39
73		144,8	+	1,4	+	10,8	10 40	8		+	142
74		169,7	+	3,6	+	27,7	12 00	0		+	142
75		60,6	+	0,6	+	4,6	17 00	30		+	86
76		32,3	+	2,5	+	19,3	14 50	19		+	32
77		160,6	+	2,0	+	15,4	15 40	27		+	149
78		33,6	+	2,0	+	15,4	11 00	2		+	51
79		160,1	+	1,7	+	13,1	11 45	0		+	147
80		94,7	+	1,0	+	7,7	12 30	1		+	86
81		21,4	+	0,6	+	4,6	13 15	4		+	30
82		2,7	+	1,0	+	7,7	13 50	5		+	10
83		190,3	+	7,1	+	54,7	11 30	0		+	245
84		24,3	+	7,7	+	59,3	12 25	1		+	34
85		226,5	+	9,8	+	75,5	13 20	5		+	297
86		55,1	+	5,7	+	43,9	15 25	15		+	84
87		224,1	+	4,4	+	33,9	16 45	16		+	241
88		10,1	+	4,3	+	33,1	9 50	12		+	11
89		46,5	+	7,6	+	58,5	11 05	4		+	8
90		79,2	+	8,6	+	66,2	11 40	1		+	14
91		74,0	+	10,0	+	77,0	12 50	2		+	1
92		90,8	+	11,4	+	87,8	14 15	10		+	13
93		22,7	+	2,5	+	19,3	8 45	15		+	27

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n_W - n_0}{2} \right)$ AVEC $n_W = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE.	DATE.	B_2 PLUS ÉCART À ZÉRO.
B_2		0		0		0	10 45	0		0
94.....		- 32,7		+ 1,5		+ 11,7	11 15	- 1		- 20
95.....		- 6,6		+ 2,0		+ 15,6	11 45	0		+ 9
96.....		- 21,5		+ 2,5		+ 19,5	13 15	1		- 3
97.....		- 16,5		+ 3,0		+ 23,5	13 45	0		+ 7
98.....		+ 2,7		+ 3,5		+ 27,3	14 15	1		+ 29
99.....		- 16,3		+ 3,5		+ 27,3	14 45	4		+ 7
100.....		- 10,3		+ 3,5		+ 27,3	15 45	5		+ 12
101.....		+ 10,7		+ 3,5		+ 27,3	16 40	3		+ 35
102.....		- 20,3		+ 3,5		+ 27,3	15 15	5		+ 2
103.....		61,1		+ 4,5		+ 35,1	11 00	- 2		- 24
104.....		- 67,9		+ 5,5		+ 42,9	11 30	- 1		- 24
105.....		- 40,8		+ 6,0		+ 46,8	12 00	0		+ 6
106.....		- 49,7		+ 6,5		+ 50,7	13 00	2		- 1
107.....		- 18,5		+ 7,5		+ 58,5	15 30	9		+ 31
108.....		- 18,5		+ 7,5		+ 58,5	15 45	10		+ 30
109.....		- 26,7		+ 6,5		+ 50,7	16 10	11		+ 13
110.....		- 7,8		+ 6,0		+ 46,8	16 30	12		+ 27
111.....		- 38,0		+ 5,0		+ 39,0	16 45	13		- 12
112.....		- 46,0		0		0	9 45	- 9		- 37
113.....		- 5,5		+ 2,5		+ 19,5	10 15	- 9		- 37
114.....		+ 10,7		+ 3,5		+ 27,3	10 45	- 8		+ 46
115.....		- 5,4		+ 3,0		+ 23,4	16 50	10		+ 8
116.....		- 45,0		+ 5,0		+ 39,0	16 30	14		- 20
117.....		+ 32,5		- 2,5		- 19,5	14 45	18		- 5
118.....		- 4,0		0		0	11 15	0		- 4
119.....		- 67,7		+ 6,5		+ 50,7	15 25	21		- 38
120.....		- 43,3		+ 6,5		+ 50,7	16 00	19		- 12
121.....		- 74,6		+ 7,0		+ 54,6	13 15	8		- 28
122.....		- 63,4		+ 8,0		+ 62,4	13 45	7		- 8
123.....		- 51,4		+ 8,0		+ 62,4	14 15	11		0
124.....		+ 41,2		+ 1,0		+ 7,8	10 30	- 2		+ 51
125.....		+ 39,2		+ 1,0		+ 7,8	10 50	- 3		+ 50
126.....		+ 42,2		+ 1,0		+ 7,8	11 15	- 3		+ 53

31,4

15° C.

7,8

Le 9 octobre 1931.

Le 10 octobre 1931.

Le 13-10-1931.

15-10-31

13-10-1931.

16-10-1931.

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_B + n_x}{2} - n_0 \right)$ AVEC $n_x = n_0$	t_0	$t - t_0$	μ	$\mu (t - t_0)$	HEURE.	VAR. DURNE	DATE.	R_2 PLUS ÉGAL À ZÉRO.
127	31,4	+ 50,3	15° C.	+ 1,5	7,8	+ 11,7	11 40	- 1	Le 14 octobre 1931.	+ 63
128		+ 43,4		+ 2,0		+ 15,6	12 00	0		+ 59
129		+ 21,4		+ 2,0		+ 15,6	13 00	4		+ 33
130		+ 38,4		+ 2,0		+ 15,6	13 25	6		+ 48
131		- 4,5		+ 2,5		+ 19,5	14 00	10		+ 5
132		- 1,6		+ 2,0		+ 15,6	14 35	12		+ 2
133		+ 17,1		+ 0,5		+ 3,9	15 15	14		+ 7
134		+ 11,1		+ 0,5		+ 3,9	16 00	16		+ 9
135		+ 40,9		- 0,5		- 3,9	16 15	16		+ 21
136		10,2		- 1,0		- 7,8	10 20	4		- 22
137		- 20,5		+ 2,5		+ 19,5	12 30	5		- 6
138		+ 26,8		- 1,0		- 7,8	14 30	11		+ 8
139		- 7,1		- 0,5		- 3,9	15 00	12		- 23
140		- 47,8		+ 1,0		+ 7,8	10 50	3		- 43
141		+ 57,4		- 3,0		- 23,4	16 40	16		+ 18
142	16-10-31	- 28,8	15° C.	+ 1,0	7,8	+ 7,8	10 30	3	15-10-31.	- 24
143		- 5,9		+ 0,5		+ 3,9	9 40	6		- 8
144		+ 12,1		+ 0,5		+ 3,9	10 00	7		+ 9
145		+ 0,9		- 0,5		- 3,9	15 30	13		- 16
146		+ 11,3		+ 1,5		+ 11,7	10 30	3		+ 20
147		+ 8,8		- 1,0		- 7,8	15 45	14		- 13
148		+ 72,2		- 4,0		- 31,2	17 00	18		+ 23
149		+ 14,4		+ 3,0		+ 23,4	12 20	2		+ 35
150		+ 20,6		- 2,0		- 15,6	16 15	16		- 11
151		+ 57,4		- 3,0		- 23,4	16 35	17		+ 7
152	31,4	+ 67,2		+ 1,0		+ 7,8	13 30	4	Le 16 octobre 1931.	+ 71
153		+ 53,0		0		0	14 00	3		+ 50
154		+ 61,1		+ 0,5		+ 3,9	14 20	7		+ 58
155		+ 47,1		+ 0,5		+ 3,9	14 40	10		+ 41
156		+ 27,0		0		0	15 00	14		+ 13
157		+ 16,8		- 1,0		- 7,8	16 00	17		- 8
158		+ 16,6		- 2,0		- 15,6	16 20	17		- 16
159		+ 79,2		+ 1,0		+ 7,8	13 00	5		+ 82
160		+ 1,0		0		0	15 00	14		- 13

TABLEAU VI. Suite.

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n_W}{2} - n_0 \right)$ avec $n_W = n_0$.	t_0 .	t .	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE (VAL-JOYEUX).	DATE.	R_2 PRIS ÉGAL À ZÉRO.
B ₃		+ 3,9		- 0,5		- 3,9	12 15	0		0
161		+ 16,2		+ 1,0		+ 7,8	13 00	2	Le 18 9	+ 22
162		- 4,6		+ 2,0		+ 15,6	13 30	3	1931.	+ 8
163		- 12,4		+ 3,0		+ 23,4	14 15	4	Le 18 sept. 1931.	+ 7
164		- 92,9		+ 3,0		+ 23,4	14 45	5		- 74
165		- 116,4		+ 3,0		+ 23,4	15 30	7		- 100
166		- 151,4		+ 3,0		+ 23,4	16 00	8		- 136
167		- 118,5		+ 2,5		+ 19,5	16 30	8		- 107
168		- 107,6		+ 2,0		+ 15,6	17 00	9	Le 21 septembre 1931.	- 101
169		- 82,7		+ 1,5		+ 11,7	17 30	9		- 80
170		+ 16,7		- 1,5		- 11,7	9 30	8		- 3
171		- 28,1		- 0,5		- 3,9	10 00	8		- 40
172		- 35,1		- 0,5		- 3,9	10 30	3		- 42
173		- 49,0		0		0	11 00	2	Le 21 septembre 1931.	- 47
174		- 39,0		0		0	12 25	0		- 39
175	31,4	- 33,3	15° C.	- 1,5	7,8	- 11,7	12 50	1		- 46
176		- 66,3		- 1,5		- 11,7	13 20	1		- 78
177		- 72,3		- 1,5		- 11,7	13 45	2		- 86
178		- 104,3		- 1,5		- 11,7	14 15	3	Le 22 9-31	- 119
179		- 95,9		+ 0,5		+ 3,9	14 45	5		- 97
180		- 98,0		0		0	15 05	6		- 104
181		- 50,0		0		0	15 50	6		- 56
182		- 14,4		- 2,0		- 15,6	16 20	6		- 36
183		- 16,4		- 2,0		- 15,6	16 40	6	Le 23-9	- 38
184		- 45,4		- 2,0		- 15,6	17 05	6		- 67
185		- 8,6		- 3,0		- 23,4	17 35	6		- 38
186		+ 77,1		- 4,5		- 35,1	11 40	0		+ 42
187		+ 77,1		- 4,5		- 35,1	12 05	0		+ 42
188		+ 65,0		- 5,0		- 39,0	9 50	2	1931.	+ 24
189		+ 78,0		- 5,0		- 39,0	9 25	4		+ 35
190		+ 81,6		- 2,0		- 15,6	12 20	0		+ 66
191		+ 67,7		- 6,4		- 50,7	12 45	0		+ 17

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n_S}{2} - n_0 \right)$ AVEC $n_w = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE (VAL-JOUR).	DATE.	B_0 PLUS ÉGAL À ZÉRO.
192	31,4	+ 29,8	15° 6.	6,0	7,8	- 46,8	13 15	1	Le 23 septembre 1931.	- 18
193		- 5,7		3,5		- 27,3	11 00	4		+ 37
194		+ 89,5		2,5		- 19,5	9 30	3		+ 67
195		+ 36,2		4,0		- 31,2	13 40	5		- 4
196		+ 26,5		2,5		- 19,5	14 10	9		- 2
197		+ 33,9		5,5		- 42,9	15 50	16		- 25
198		+ 26,9		5,5		- 42,9	16 25	15		- 31
199		+ 44,7		6,5		- 50,7	15 15	17		- 23
200		+ 49,0		5,0		- 39,0	14 50	15		- 5
201		+ 48,2		4,0		- 31,2	14 30	12		+ 5
202		+ 43,8		6,0		- 46,8	17 00	14		- 17
203		+ 59,6		7,0		- 54,6	17 15	13		- 8
204		+ 72,3		3,5		- 27,3	12 20	2		+ 53
205		+ 8,4		3,0		- 23,4	12 50	4		- 19
206		+ 30,6		2,0		- 15,6	13 20	7		+ 8
207		- 9,5		2,5		- 19,5	13 55	10		- 38
208		- 28,3		0,5		+ 3,9	14 40	17		- 42
209		+ 2,9		0,5		+ 3,9	15 10	20		- 21
210		+ 0,8		1,0		+ 7,8	15 40	19		- 26
211		+ 25,4		3,0		- 23,4	9 50	1		+ 1
212		+ 45,7		1,5		- 11,7	16 30	18		+ 16
213		+ 14,7		1,5		- 11,7	16 50	17		- 14
214		+ 47,3		3,5		- 27,3	17 10	16		+ 4
215		- 10,1		0,5		+ 3,9	10 40	- 2		- 12
216		38,2		1,0		- 7,8	11 50	0		- 46
217		- 26,0		0		0	12 25	0		- 26
218		11,9		+ 0,5		+ 3,9	13 00	0		- 8
219		- 74,4		+ 3,0		+ 23,4	14 40	4		- 55
220		84,4		+ 4,5		+ 35,1	15 00	5		- 54
221		52,6		+ 2,0		+ 15,6	16 20	9		- 46
222		11,0		0		0	17 00	8		+ 3
223		- 8,0		0		0	16 40	8		0

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_1 + n_2}{3} - n_0 \right)$ AVEC $n_w = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE (VAL-MOYEN).	DATE.	B_2 PRIS ÉGAL À ZÉRO.
B ₁		- 1,9		+ 0,5	+ 3,9	10 00		2		0
224.....		- 180,8		+ 6,0	+ 46,8	11 00		3		131
225.....		- 193,0		+ 5,0	+ 39,0	11 30		1		153
226.....		- 184,9		+ 5,5	+ 42,9	14 10		9		151
227.....		- 154,5		+ 7,5	+ 58,5	14 45		11		107
228.....		- 178,5		+ 7,5	+ 58,5	15 15		12		132
229.....		- 191,7		+ 6,5	+ 50,7	16 00		16		157
230.....		- 175,8		+ 6,0	+ 46,8	16 45		17		146
231.....		- 188,0		+ 5,0	+ 39,0	17 10		18		167
232.....		- 180,1		+ 4,5	+ 35,1	17 30		18		163
233.....		- 151,3		+ 3,5	+ 27,3	18 10		17		141
234.....		- 156,6		+ 2,0	+ 15,6	18 35		16		157
235.....		- 91,7		+ 1,5	+ 11,7	9 05		17		97
236.....		- 102,6		+ 2,0	+ 15,6	9 30		9		96
237.....		- 118,5		+ 2,5	+ 19,5	10 15		0		99
238.....		- 110,4		+ 3,0	+ 23,4	10 45		2		85
239.....		- 137,3		+ 3,5	+ 27,3	11 15		2		108
240.....		- 113,1		+ 4,5	+ 35,1	11 45		0		78
241.....		- 1,2		+ 4,0	+ 31,2	13 30		9		25
242.....		- 68,1		+ 4,5	+ 35,1	13 50		8		41
243.....		- 62,8		+ 6,0	+ 46,8	15 00		9		25
244.....		- 126,8		+ 6,0	+ 46,8	14 30		9		89
245.....		- 35,7		+ 6,5	+ 50,7	13 45		8		7
246.....		- 23,7		+ 6,5	+ 50,7	16 35		15		12
247.....		- 13,9		+ 4,5	+ 35,1	17 10		17		32
248.....		+ 5,6		+ 3,0	+ 23,4	17 35		19		10
249.....		- 47,6		+ 2,0	+ 15,6	18 30		21		53
250.....		- 90,6		+ 2,0	+ 15,6	9 10		5		80
251.....		- 129,3		+ 3,5	+ 27,3	9 30		2		104
252.....		- 119,0		+ 5,0	+ 39,0	10 00		3		84
253.....		- 152,8		+ 6,0	+ 46,8	10 35		2		104
254.....		- 132,8		+ 6,1	+ 46,8	11 30		1		85
255.....		- 108,1		+ 4,5	+ 35,1	13 15		2		71
256.....		- 84,2		+ 4,0	+ 31,2	14 10		9		62
257.....		+ 6,7		+ 3,5	+ 27,3	14 40		9		25
258.....		+ 15,8		+ 4,0	+ 31,2	15 00		9		38
259.....		+ 10,3		+ 3,5	+ 27,3	15 30		12		5
260.....		+ 65,7		+ 3,5	+ 27,3	16 30		15		78
261.....		+ 7,4		+ 2,0	+ 15,6	17 30		19		4
262.....		+ 77,6		+ 2,0	+ 15,6	18 00		22		84
263.....		+ 10,7		+ 3,5	+ 27,3	12 40		5		33
264.....		+ 32,6		+ 3,0	+ 23,4	12 15		2		54
265.....		+ 17,8		+ 4,0	+ 31,2	14 00		13		36
266.....		+ 14,0		+ 5,0	+ 39,0	14 30		15		10
267.....		+ 18,4		+ 3,0	+ 23,4	15 00		16		11
268.....		+ 18,4		+ 3,0	+ 23,4	16 00		20		15
269.....		+ 0,6		+ 2,0	+ 15,6	16 30		20		5
270.....		+ 17,2		+ 1,0	+ 7,8	17 00		20		5

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n}{3} - n_0 \right)$ AVEC $n_E = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE (VAL-JOURN).	DATE.	VALEURS RAPPORTÉES À LA BASE.
Base		— 39,0		+ 5,0		+ 39,0	10 20	0		0
271		— 13,1		+ 4,5		+ 55,1	10 50	3		21
272		— 41,9		+ 5,5		+ 42,9	11 20	3		4
273		— 44,0		+ 5,0		+ 39,0	13 15	6		11
274		— 72,2		+ 9,0		+ 70,2	14 00	11		13
275		— 29,3		+ 8,5		+ 66,3	16 45	22		15
276		— 33,6		+ 7,0		+ 54,6	17 05	22		1
277		— 29,7		+ 6,5		+ 50,7	17 25	23		2
278		— 22,5		+ 2,5		+ 19,5	9 15	6		9
279		— 29,4		+ 3,0		+ 23,4	10 00	4		10
280		— 19,0		+ 5,0		+ 39,0	10 25	2		18
281		— 8,0		+ 5,0		+ 39,0	10 50	1		32
282		— 49,7		+ 6,5		+ 50,7	11 15	2		3
283		— 39,6		+ 7,0		+ 54,6	11 45	1		16
284		— 19,8		+ 6,0		+ 46,8	13 35	10		17
285		— 20,7		+ 6,5		+ 50,7	14 00	10		20
286		— 6,8		+ 6,0		+ 46,8	14 35	14		26
287		— 4,8		+ 6,0		+ 46,8	15 10	17		25
288		— 0		+ 5,0		+ 39,0	15 40	18		24
289		— 14,0		+ 5,0		+ 39,0	16 15	19		6
290		— 18,8		+ 6,0		+ 46,8	16 45	17		11
291		— 10,0		+ 5,0		+ 39,0	17 15	17		12
292		— 38,0		+ 5,0		+ 39,0	17 45	17		16
293		— 35,0		+ 5,0		+ 39,0	18 15	17		13
294		— 30,0		+ 5,0		+ 39,0	19 35	15		6
295	31,4	+ 20,6		+ 3,0		+ 23,4	8 00	13		31
296		+ 10,6		+ 3,0		+ 23,4	8 20	12		22
297		+ 32,6		+ 3,0		+ 23,4	9 00	10		46
298		+ 22,5		+ 2,5		+ 19,5	9 35	6		36
299		+ 23,5		+ 2,5		+ 19,5	10 40	2		2
300		+ 27,2		+ 4,0		+ 31,2	13 00	2		6
301		+ 15,9		+ 4,5		+ 35,1	13 35	8		12
302		+ 14,0		+ 5,0		+ 39,0	14 20	14		21
303		+ 4,9		+ 4,5		+ 35,1	15 00	17		23
304		+ 5,6		+ 7,0		+ 54,6	15 50	20		29
305		+ 12,3		+ 6,5		+ 50,7	17 00	20		43
306		+ 14,3		+ 6,5		+ 50,7	17 55	18		47
307		+ 32,1		+ 4,5		+ 35,1	12 45	2		1
308		+ 20,2		+ 4,0		+ 31,2	13 15	15		6
309		+ 36,0		+ 5,0		+ 39,0	13 40	12		9
310		+ 24,9		+ 5,5		+ 42,9	14 40	16		2
311		+ 1,9		+ 5,5		+ 42,9	15 30	23		18
312		+ 1,9		+ 4,5		+ 35,1	16 15	27		10
313		+ 3,3		+ 3,5		+ 27,3	16 45	28		4
314		+ 8,7		+ 3,5		+ 27,3	17 15	28		24
315		+ 50,6		+ 3,0		+ 23,4	17 30	28		46
316		+ 47,8		+ 11,0		+ 85,8	9 15	9		29
317		+ 55,8		+ 11,0		+ 85,8	10 00	6		24
318		+ 73,9		+ 10,5		+ 81,9	10 40	4		4
319		+ 85,7		+ 11,5		+ 89,7	11 10	3		1
320		+ 100,4		+ 13,0		+ 101,4	11 45	1		0

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n_w}{9} - n_0 \right)$ avec $n_w = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE (VAL-JOURN).	DATE.	B_0 PRIS ÉGAL À ZÉRO.
B ₅		+ 6,0		0		0	10 30	6		0
321		- 60,0		+ 5,0		+ 39,0	11 35	2		- 23
322		- 104,0		+ 5,0		+ 39,0	12 05	0		- 65
323		+ 35,8		- 1,0		- 7,8	13 05	1		+ 27
324		+ 41,7		- 1,5		- 11,7	13 35	5		+ 25
325		+ 89,3		- 3,5		- 27,3	14 00	8		+ 54
326		- 289,0		- 8,5		- 66,2	9 20	5		- 350
327		+ 38,2		- 4,0		- 31,2	10 30	7		0
328		+ 38,2		- 4,0		- 31,2	10 50	6		+ 1
329		+ 53,2		- 4,0		- 31,2	11 10	4		+ 18
330		+ 14,4		- 3,0		- 23,4	11 30	2		- 11
331		+ 10,8		- 1,0		- 7,8	11 45	1		+ 2
332		+ 9,8		- 1,0		- 7,8	13 50	1		+ 3
333		+ 9,8		- 1,0		- 7,8	14 15	1		+ 1
334		+ 11,8		- 1,0		- 7,8	14 45	5		+ 1
335		- 38,0		0		0	15 10	8		- 46
336	31,4	- 16,8	20° C.	+ 1,0	7,8	+ 7,8	15 40	12		- 21
337		- 15,0		0		0	16 10	15		- 30
338		+ 10,6		- 2,0		- 15,6	16 30	16		- 21
339		+ 8,6		- 2,0		- 15,6	16 50	17		- 24
340		+ 17,5		- 2,5		- 19,5	17 10	17		- 19
341		+ 25,5		- 2,5		- 19,5	17 40	18		- 12
342		+ 15,6		- 2,0		- 15,6	18 10	18		- 18
343		+ 27,0		0		0	8 30	16		+ 11
344		- 8,1		- 0,5		- 3,9	8 50	15		- 27
345		- 2,0		0		0	9 10	14		- 16
346		- 2,8		+ 1,0		+ 7,8	9 40	15		- 10
347		+ 21,1		+ 0,5		+ 3,9	10 15	13		+ 12
348		- 16,8		+ 1,0		+ 7,8	10 50	9		- 18
349		- 86,4		+ 3,0		+ 23,4	14 10	14		- 77
350		- 54,5		+ 2,5		+ 19,5	14 55	20		- 55
351		- 73,4		+ 3,0		+ 23,4	16 10	15		- 65
352		- 58,5		+ 2,5		+ 19,5	16 45	16		- 55
353		- 74,6		+ 2,0		+ 15,6	17 10	16		- 75

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n_w}{2} - n_0 \right)$ AVEC $n_w = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	UEL RE.	VAR. DIURNE (VAL. MOYEN X).	DATE.	B_s PRIS ÉGAL À ZÉRO.
354.....	31,4	- 75,5	20° C.	+ 2,5	7,8	+ 19,5	17 55	17	Le 22-27 juillet 1931.	- 73
355.....		- 58,5		+ 2,5		+ 19,5	18 20	17		- 56
356.....		+ 30,7		+ 6,5		+ 50,7	13 45	5		+ 15
357.....		- 31,6		+ 7,0		+ 54,6	14 10	7		+ 16
358.....		- 48,5		+ 7,5		+ 58,5	14 45	12		- 2
359.....		- 8,4		+ 8,0		+ 62,4	15 25	21		+ 33
360.....		+ 5,6		+ 8,0		+ 62,4	16 35	40		+ 28
361.....		+ 32,4		+ 7,0		+ 54,6	17 45	44		+ 43
362.....		+ 34,6		+ 8,0		+ 62,4	17 30	9		+ 88
363.....		- 4,9		+ 4,5		+ 35,1	8 50	8	Le 24 juillet 1931.	+ 23
364.....		- 10,0		+ 5,0		+ 39,0	9 15	7		+ 22
365.....		- 11,9		+ 5,5		+ 42,9	9 35	6		+ 25
366.....		- 34,5		+ 7,5		+ 58,5	10 15	5		+ 19
367.....		- 47,3		+ 8,5		+ 66,3	11 15	5		+ 14
368.....		- 57,3		+ 8,5		+ 66,3	13 35	4		+ 5
369.....		- 76,9		+ 10,5		+ 81,9	14 35	8		- 3
370.....		- 98,0		+ 10,0		+ 78,0	15 45	10		- 30
371.....		- 80,1		+ 9,5		+ 74,1	16 10	11	Le 25 juillet 1931.	- 17
372.....		+ 4,6		+ 8,0		+ 62,4	16 50	8		+ 59
373.....		- 81,3		+ 8,5		+ 66,3	9 35	5		- 20
374.....		- 74,4		+ 8,0		+ 62,4	10 10	4		- 16
375.....		- 77,2		+ 9,0		+ 70,2	10 35	2		- 9
376.....		- 63,2		+ 9,0		+ 70,2	11 05	1		+ 6
377.....		- 58,3		+ 8,5		+ 66,3	11 30	1		+ 7
378.....		- 23,1		+ 4,5		+ 35,1	13 10	7		+ 5
379.....		- 32,8		+ 6,0		+ 46,8	13 50	19		- 5
380.....		- 22,1		+ 4,5		+ 35,1	14 30	22		- 9
381.....		+ 20,6		+ 3,0		+ 23,4	15 10	21	Le 26-27-31.	+ 23
382.....		+ 0,5		+ 2,5		+ 19,5	15 45	23		- 3
383.....		+ 69,2		+ 1,0		+ 7,8	16 40	27		+ 50
384.....		+ 58,4		+ 2,0		+ 15,6	8 10	8		+ 66
385.....		+ 86,4		+ 2,0		+ 15,6	8 30	8		+ 94
386.....		+ 96,3		+ 1,5		+ 11,7	8 50	7		+ 101
387.....		+ 80,3		+ 1,5		+ 11,7	9 15	6		+ 86
388.....		+ 69,4		+ 2,0		+ 15,6	9 35	4		+ 81

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n_w - n_0}{2} \right)$ AVEC $n_w \sim n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE (VAL-JOYEUX).	DATE.	P_0 PRIS ÉGAL À ZÉRO.
B ₆	-	11,7	31,4	+	1,5	+ 11,7	11 30	0	1 ^{re} -10-31.	0
389	+	15,3		+	1,5	+ 11,7	12 00	9		+ 27
390	-	1,4		+	3,0	+ 23,4	12 30	0		+ 22
391	-	41,9		+	5,5	+ 42,9	13 10	1		0
392	-	104,6		+	7,0	+ 54,6	13 30	10		- 60
393	-	71,8		+	6,0	+ 46,8	14 00	15		- 40
394	-	40,9		+	5,5	+ 42,9	14 30	21		- 19
395	-	60,9		+	5,5	+ 42,9	14 50	25		- 43
396	-	37,0		+	5,0	+ 39,0	15 50	40		- 38
397	-	58,2		+	4,0	+ 31,2	16 20	40		- 67
398	-	39,5		+	2,5	+ 19,5	16 50	37		- 57
399	-	1,8		+	1,0	+ 7,8	9 10	6	Le 1 octobre 1931.	0
400	-	8,8		+	1,0	+ 7,8	9 30	4		- 5
401	-	3,8		+	1,0	+ 7,8	9 50	3		+ 1
402	+	3,2		+	1,0	+ 7,8	10 20	1		+ 10
403	-	4,8		+	1,0	+ 7,8	10 50	0		+ 3
404	-	15,9		+	0,5	+ 3,9	8 45	8		- 20
405	+	18,8		+	1,0	+ 7,8	11 20	0		- 11
406	+	18,3		+	1,5	+ 11,7	12 15	1		+ 29
407	+	13,4		+	2,0	+ 15,6	12 50	2		+ 27
408	-	18,6		+	2,0	+ 15,6	13 15	3		- 6
409	+	12,4	15° C.	+	2,0	+ 15,6	13 45	4	Le 3 octobre 1931.	+ 24
410	+	24,6		+	2,0	+ 15,6	14 05	4		- 13
411	-	2,8		+	1,0	+ 7,8	15 40	8		- 3
412	-	42,6		+	2,0	+ 15,6	14 40	6		- 33
413	+	4,2		+	1,0	+ 7,8	16 10	9		+ 3
414	-	20,7		+	1,5	+ 11,7	15 05	6		- 15
415	-	3,8		+	1,0	+ 7,8	16 40	12		- 8
416	+	12,0		0	0	0	17 20	12		0
417	+	20,6		- 2,0	- 15,6	- 15,6	9 05	14	4-10-31.	- 9
418	+	12,6		- 1,5	- 15,6	- 15,6	9 30	11		- 14
419	+	7,9		- 0,5	- 3,9	- 3,9	9 50	10		- 6
420	+	17,3		+	1,5	+ 11,7	10 35	3		+ 26

TABLEAU VI. (Suite.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n_w}{2} - n_0 \right)$ AVPC $n_w = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE (VAL-JOUREX).	DATE.	B_0 PNS ÉGAL À ZÉRO.
421	34,4	+ 0,5	15° C.	+ 2,5	7,8	+ 19,5	11 10	- 1	1er 4 octobre 1931.	+ 21
422		- 23,3		+ 3,5		+ 27,3	11 35	0		+ 4
423		+ 5,7		+ 3,5		+ 27,3	12 00	0		+ 33
424		+ 19,7		+ 3,5		+ 27,3	13 00	10		+ 37
425		- 2,1		+ 4,5		+ 35,1	13 35	12		+ 21
426		+ 13,9		+ 4,5		+ 35,1	14 10	14		+ 35
427		+ 28,4		+ 2,0		+ 15,6	17 10	25		+ 19
428		+ 11,8		+ 4,0		+ 31,2	16 05	19	Le 5 octobre 1931.	+ 24
429		+ 16,7		+ 3,5		+ 27,3	16 35	22		+ 22
430		- 4,7		+ 1,5		+ 11,7	9 40	0		+ 7
431		+ 1,3		+ 1,5		+ 11,7	10 10	- 1		+ 14
432		- 4,5		+ 2,5		+ 19,5	10 30	- 2		+ 17
433		- 9,4		+ 3,0		+ 23,4	11 00	- 4		+ 18
434		- 11,2		+ 4,0		+ 31,2	11 20	- 3		+ 23
435		- 36,9		+ 5,5		+ 42,9	11 50	- 1		+ 7
436		- 60,6		+ 7,0		+ 54,6	12 20	1		- 7
437		- 72,2		+ 9,0		+ 70,2	13 40	7		- 9
438		- 66,4		+ 8,0		+ 62,4	14 10	9		- 13
439		- 62,5		+ 7,5		+ 58,5	14 30	10		- 14
440		- 68,6		+ 7,0		+ 54,6	15 00	11		- 25
441		- 73,6		+ 7,0		+ 54,6	15 30	14		- 33
442		- 49,9		+ 5,5		+ 42,9	16 30	21		- 28
443		- 45,9		+ 5,5		+ 42,9	10 10	- 1		- 22
444		- 30,3		+ 3,5		+ 27,3	9 30	5	6-10-31	- 8
445		- 25,5		+ 2,5		+ 19,5	9 00	7		- 1
446		- 72,7		+ 6,5		+ 50,7	16 05	17	5-10-31	- 39
447		- 53,6		+ 7,0		+ 54,6	11 30	1		0
448		- 91,3		+ 8,5		+ 66,3	12 00	0	Le 6 octobre 1931.	- 25
449		- 101,0		+ 10,0		+ 78,0	12 30	1		- 24
450		- 106,0		+ 10,0		+ 78,0	13 00	3		- 31
451		- 116,9		+ 10,5		+ 81,9	13 30	3		- 38
452		- 102,0		+ 10,0		+ 78,0	14 10	5		- 29
453		- 88,2		+ 9,0		+ 70,2	16 10	9		- 27

TABLEAU VI. (Suite et fin.)

STATION.	K.	$K \left(\frac{n_E + n_w - n_0}{3} \right)$ avec $n_w = n_0$.	t_0 .	$t - t_0$.	μ .	$\mu (t - t_0)$.	HEURE.	VAR. DIURNE (VAL-JOUR).	DATE.	BRUSCHWIKERS- HEIM PUIS RÉAL À ZÉRO.
454	23,8 = env. 24.	+ 98,0	15°	0,5	7,7	3,8	10 00	6,0	33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33	0
455		+ 142,0		0,5		3,8	11 20	2,0		+ 100
456		+ 88,0		0,5		3,8	12 15	1,5		+ 150
457		+ 94,0		0,3		2,3	13 15	6,5		+ 85
458		+ 124,0		1,3		10,0	14 15	11,0		+ 107
459		+ 166,0		3,5		27,0	15 15	16,0		+ 98
460		+ 238,0		3,5		27,0	12 30	2,5		+ 136
461		+ 341,0		4,9		37,7	13 30	7,5		+ 203
462		+ 323,0		4,5		34,6	15 00	15,0		+ 288
463		+ 387,0		5,1		39,3	16 00	19,0		+ 269
464		+ 484,0		6,1		47,0	12 15	1,5		+ 346
465		+ 420,0		6,3		48,5	13 00	5,0		+ 432
466		+ 341,0		10,5		78,8	14 00	10,0		+ 362
467		+ 316,0		10,5		78,8	12 40	3,5		+ 259
468		+ 451,0		10,5		78,8	13 15	6,5		+ 231
469		+ 385,0		10,5		78,8	14 05	10,0		+ 362
470		+ 588,0		7,5		78,8	15 00	15,0		+ 291
471		+ 432,0		7,5		57,7	12 45	3,5		+ 527
472	2.	+ 343,0	20°	8,0		61,6	14 00	10,0	33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33 33-41-33	+ 364
473		+ 368,0		8,0		61,6	15 00	15,0		+ 267
474		+ 279,0		4,0		30,8	18 00	4,0		+ 288
475		+ 516,0		3,5		27,0	10 00	2,0		+ 244
476		+ 381,0		3,0		23,0	11 00	0,0		+ 487
Bruschwikersheim.		0					12 10	0,0		+ 358
477		- 65,1		4,0		30,8	12 30	25,0		0
478		- 37,2		3,5		26,9	9 30	8,5		- 102
479		- 203,3		1,5		11,5	10 25	4,5		- 66
480		- 390,1		2,5		19,2	11 30	1,5		- 219
481		- 344,1		6,5		50,0	14 15	11,0		- 418
482		- 204,6		7,0		53,9	18 20	+ 20,0		- 412
483		- 450,1		2,0		15,4	10 10	5,5		- 263
484		- 474,3		0,5		3,8	11 05	3,0		- 466
485		- 487,3		0,4		3,0	13 00	5,0		- 481
486		- 409,2		2,6		20,0	13 50	9,0		- 497
487		- 539,4		3,8		29,3	15 50	18,0		- 445
488		- 399,9		2,1		18,5	18 00	20,0		- 586
489		- 390,6		2,0		15,4	17 10	20,0		- 436
490		- 353,4		4,5		34,6	16 10	20,0		- 424
491		- 77,8		0,8		6,2	17 30	20,0		- 406
492		- 324,4		+ 0,4		3,1	10 30	4,5		- 86
493		- 278,9		+ 0,6		4,6	11 40	1,0		- 324
							12 25	1,0		- 280

DEUXIÈME PARTIE.

CHAPITRE IV.

Nous devons à Thalén (133), à Tiberger (134), à Smith (124), à Carlheim-Gyldenstiöld (27, 28) et à Eötvös (43) les premiers travaux d'interprétation quantitative des anomalies sur des dépôts de minerais fortement magnétiques. Les études plus récentes de Griesser (49), de Haalck (51), de Bahurin (10), de Kœnigsberger (72), de Frost (45), de Malkin (87) et de Speransky (127) sont surtout des travaux analytiques et ne comportent pas des applications directes à la géologie.

Les formules de Haalck dont les calculs ne sont pas explicités par cet auteur, sont transcrites également par M. E. Rothé (111 *bis*, p. 109-115). Il est regrettable cependant que ces formules comportent de fréquentes erreurs dans les mémoires originaux (51, 52).

Indépendamment de ces auteurs, je traite dans le présent chapitre, l'aimantation de certaines surfaces du second degré en partant simplement de la théorie classique de Poisson. Je développe ensuite les applications pratiques qui en découlent pour la géologie régionale (et en particulier pour celle de l'Alsace) qu'aucun auteur n'a développées jusqu'à maintenant.

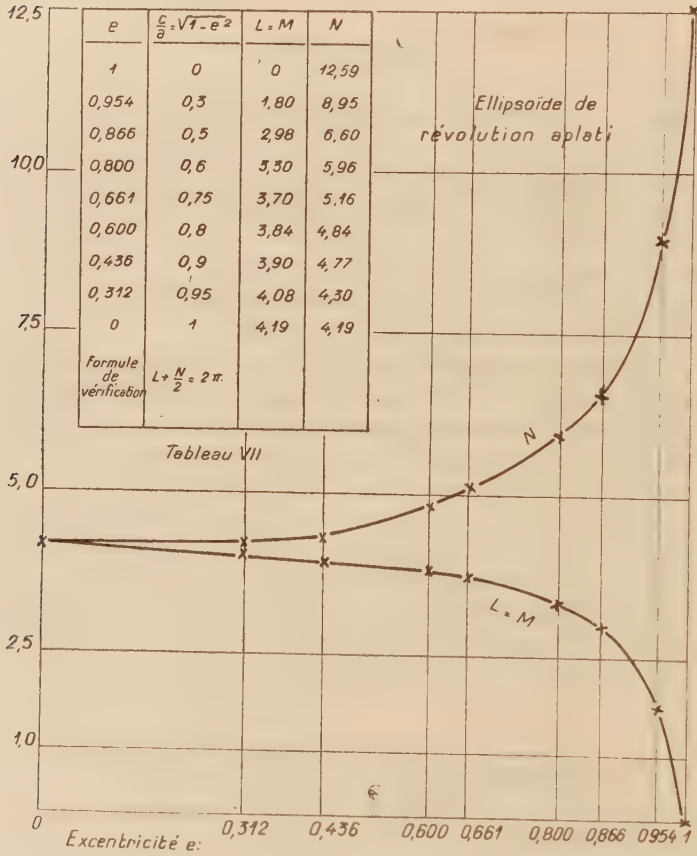
Aimantation par induction d'un ellipsoïde rapporté à ses axes.

Soient A, B, C les composantes de l'aimantation relatives aux trois axes de l'ellipsoïde; X, Y, Z, celles de l'attraction newtonienne due à cet ellipsoïde, supposé homogène et de densité

égale à l'unité. Le potentiel magnétique de l'ellipsoïde en un point extérieur quelconque dû à l'aimantation induite est donné par l'expression

$$\Omega = -AX - BY - CZ$$

d'après l'hypothèse des couches de glissement de Poisson.



D'autre part, A, B, C étant les composantes de la force d'aiman-

tation externe, et Z la susceptibilité magnétique de l'ellipsoïde, on a les relations

$$A = \frac{\kappa}{1 + xL} \alpha_0,$$

$$B = \frac{\kappa}{1 + xM} \beta_0,$$

$$C = \frac{\kappa}{1 + xN} \gamma_0,$$

où L , M , N s'expriment par

$$L = 2\pi abc \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(a^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}}$$

$$M = 2\pi abc \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(b^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}},$$

$$N = 2\pi abc \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(c^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}};$$

pour un ellipsoïde quelconque. Il s'ensuit donc que la composante verticale de la force due à l'aimantation de l'ellipsoïde s'obtient par l'expression

$$\Delta Z = -\frac{\delta \Omega}{\delta z} = A \frac{\delta X}{\delta z} + B \frac{\delta Y}{\delta z} + C \frac{\delta Z}{\delta z}.$$

Le problème consisterait donc d'après Poisson, à calculer X , Y , Z , c'est-à-dire les trois composantes de l'attraction newtonienne. Elles sont données par les trois expressions (F. Tisserand : Mécanique céleste)

$$X = -\frac{\delta V}{\delta x} = 2\pi abc \cdot x \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(a^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}},$$

$$Y = -\frac{\delta V}{\delta y} = 2\pi abc \cdot y \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(b^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}},$$

$$Z = -\frac{\delta V}{\delta z} = 2\pi abc \cdot z \int_0^\infty \frac{d\lambda}{(c^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}}.$$

1° *Cas de l'ellipsoïde de révolution aplati (planétaire).*
(Axe de révolution vertical $c < a = b$.)

On trouve aisément :

$$L = M = 2\pi \frac{\sqrt{1-e^2}}{e^2} \left(\frac{\arcsin e}{e} - \sqrt{1-e^2} \right),$$

$$N = 2\pi \cdot \frac{1}{e^2} \left(1 - \sqrt{1-e^2} \cdot \frac{\arcsin e}{e} \right).$$

Quant aux valeurs de X, Y, Z , on les obtient d'après

$$X = -\frac{\delta V}{\delta x} = -2\pi a^2 c \cdot x \int_u^\infty \frac{d\lambda}{(a^2 + \lambda) \sqrt{c^2 + \lambda}}$$

$$Y = -\frac{\delta V}{\delta y} = -2\pi a^2 c \cdot y \int_u^\infty \frac{d\lambda}{(a^2 + \lambda) \sqrt{c^2 + \lambda}},$$

$$Z = -\frac{\delta V}{\delta z} = -2\pi a^2 c \cdot z \int_u^\infty \frac{d\lambda}{(a^2 + \lambda) \sqrt{(c^2 + \lambda)^{3/2}}};$$

où le potentiel newtonien d'un ellipsoïde en un point extérieur $P(x, y, z)$ s'exprime par la relation

$$V = \pi abc \int_u^\infty \frac{1 - \frac{x^2}{a^2 + \lambda} - \frac{y^2}{b^2 + \lambda} - \frac{z^2}{c^2 + \lambda}}{\sqrt{(a^2 + \lambda)(b^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}} d\lambda.$$

L'expression de u est obtenue en envisageant l'équation de l'ellipsoïde homofocal

$$\frac{x^2}{a^2 + u} + \frac{y^2}{b^2 + u} + \frac{z^2}{c^2 + u} = 1.$$

En particulier, dans le cas de l'ellipsoïde de révolution aplati autour de c , on a

$$3u = x^2 + y^2 + z^2 - a^2 - c^2 + \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)^2 + (a^2 - c^2)[(a^2 - c^2) + 2(z^2 - y^2 - x^2)]}.$$

L'intégration des expressions de X, Y, Z en est alors immédiate en adoptant successivement les deux changements de variables (transformation de Jacobi)

$$\cos \theta = \frac{a}{\sqrt{a^2 + \lambda}} \text{ avec } \lambda = a^2 \tan^2 \theta \text{ et } d\lambda = 2a^2 \frac{\sin \theta}{\cos^3 \theta};$$

$$e \cos \theta = \sin \varphi.$$

On trouve alors les expressions

$$X = 2\pi \frac{\sqrt{1-e^2}}{e^3} \left(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \varepsilon - \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon^2} \right) x,$$

$$Y = 2\pi \frac{\sqrt{1-e^2}}{e^3} \left(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \varepsilon - \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon^2} \right) y,$$

$$Z = 4\pi \frac{\sqrt{1-e^2}}{e^3} (\varepsilon - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \varepsilon) z,$$

où

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - c^2}}{a} \text{ et } \varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 - c^2}}{\sqrt{c^2 + u}};$$

de sorte que

$$\frac{\partial X}{\partial z} = 4\pi a^2 c \frac{xz}{p(a^2 + u)(c^2 + u)^{1/2}},$$

$$\frac{\partial Y}{\partial z} = 4\pi a^2 c \frac{yz}{p(a^2 + u)(c^2 + u)^{1/2}},$$

$$\frac{\partial Z}{\partial z} = 4\pi \frac{\sqrt{1-e^2}}{e^3} (\varepsilon - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \varepsilon) + 4\pi a^2 e \frac{z}{p(c^2 + u)^{3/2}};$$

avec

$$p = 2u - (x^2 + y^2 + z^2) + a^2 + c^2.$$

Comme

$$A = \frac{\kappa \mathfrak{A}}{1 + \kappa L} = \frac{\frac{\mu-1}{4\pi} \mathfrak{A}_0}{1 + \frac{\mu-1}{2} \cdot \frac{\sqrt{1-e^2}}{e^3} \left(\frac{\operatorname{arc} \sin e}{e} - \sqrt{1-e^2} \right)},$$

$$B = \frac{\kappa \mathfrak{B}}{1 + \kappa M} = \frac{\frac{\mu-1}{4\pi} \mathfrak{B}_0}{1 + \frac{\mu-1}{2} \cdot \frac{\sqrt{1-e^2}}{e^3} \left(\frac{\operatorname{arc} \sin e}{e} - \sqrt{1-e^2} \right)},$$

$$C = \frac{\kappa \mathfrak{C}}{1 + \kappa N} = \frac{\frac{\mu-1}{4\pi} \mathfrak{C}_0}{1 + (\mu-1) \cdot \frac{1}{e^3} \left(1 - \sqrt{1-e^2} \frac{\operatorname{arc} \sin e}{e} \right)}.$$

En appliquant la formule

$$\Delta Z = A \frac{\partial X}{\partial z} + B \frac{\partial Y}{\partial z} + C \frac{\partial Z}{\partial z}.$$

l'anomalie magnétique ΔZ , le long d'un profil Nord-Sud confondu avec l'axe des x , me sera donnée en chaque point de ce profil par la formule :

$$(a) \left\{ \begin{aligned} \Delta Z = & -4\pi a^2 c \left[\frac{\varepsilon - \arctan \frac{z}{p}}{(a^2 - c^2)^{3/2}} - \frac{z^2}{p(c^2 + u)^{3/2}} \right] C + \\ & + 4\pi a^2 c \frac{Axz}{p(a^2 + u)(c^2 + u)^{1/2}}; \text{ où } y = 0. \end{aligned} \right.$$

En me basant également sur la relation

$$\Delta H = A \frac{\partial X}{\partial x} + C \frac{\partial Z}{\partial x},$$

la même méthode appliquée à l'évaluation analytique de ΔH le long du même profil, conduirait à l'expression :

$$(b) \left\{ \begin{aligned} \Delta H = & 4\pi a^2 c \left[\frac{(c^2 + u)^{1/2}}{p(a^2 + u)^2} x^2 - \frac{1}{2(a^2 - c^2)^{3/2}} \left(\arctan \frac{z}{p} - \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon^2} \right) \right] A \\ & + 4\pi a^2 c \frac{xz}{p(c^2 + u)^{1/2}(a^2 + u)} C. \end{aligned} \right.$$

2° *Cas de l'ellipsoïde de révolution allongé (ovoïde).*
(Axe de révolution vertical $c > a = b$.)

En adoptant le même mode de quadrature, les formules générales conduisent aux deux systèmes suivants :

$$\left\{ \begin{aligned} L = M = & \frac{2\pi}{e^2} \left[1 - \frac{1}{2e} (1 - e^2) \operatorname{Log} \frac{1+e}{1-e} \right], \\ N = & \frac{4\pi}{e^2} (1 - e^2) \cdot \left[\frac{1}{2e} \operatorname{Log} \frac{1+e}{1-e} - 1 \right]. \end{aligned} \right.$$

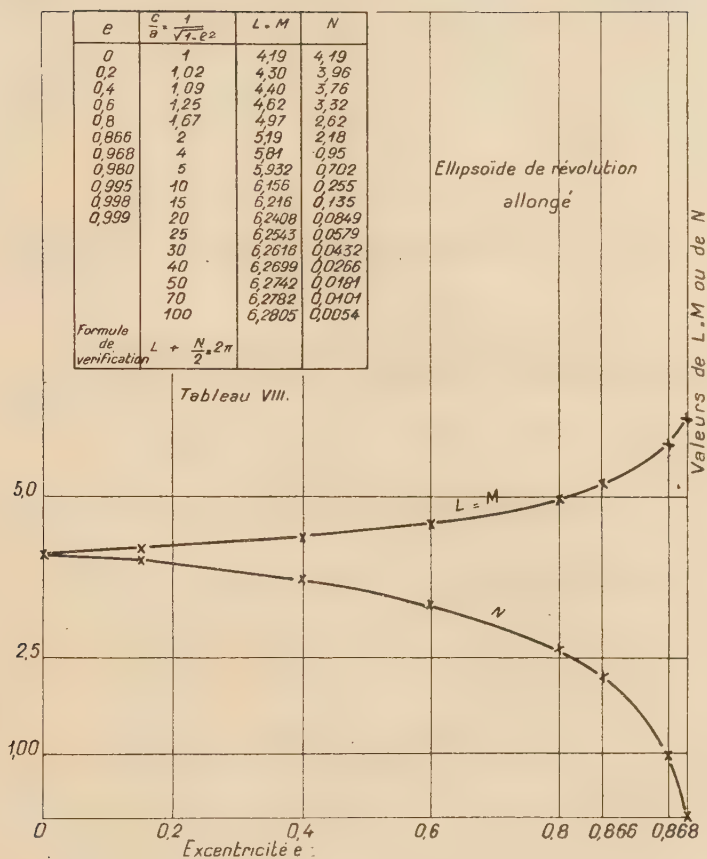
$$X = 2\pi \frac{c}{a} \left[\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon^2} - \operatorname{Log} \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} \right] \cdot \frac{a^2}{(c^2 - a^2)^{3/2}} \cdot x,$$

$$Y = 2\pi \frac{c}{a} \left[\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon^2} - \operatorname{Log} \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} \right] \cdot \frac{a^3}{(c^2 - a^2)^{3/2}} \cdot y,$$

$$Z = 4\pi \frac{c}{a} \left[\operatorname{Log} \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} - \varepsilon \right] \cdot \frac{a^3}{(c^2 - a^2)^{3/2}} \cdot z,$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{c^2 - a^2}{c^2 + u}},$$

$$u = \frac{2u - x^2 + y^2 + z^2 - a^2 - c^2}{1 + \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2) + (c^2 - a^2) [(c^2 - a^2) - 2(z^2 - x^2 - y^2)]}}.$$



On en déduit aisément

$$\frac{\partial X}{\partial z} = 4\pi \frac{a^2 c}{(a^2 + u) (c^2 + u)^{1/2}} \cdot \frac{xz}{p},$$

$$\frac{\partial Y}{\partial z} = 4\pi \frac{a^2 c}{(a^2 + u) (c^2 + u)^{1/2}} \cdot \frac{yz}{p},$$

$$\frac{\partial Z}{\partial z} = 4\pi \left[\frac{(c^2 - a^2)^{3/2}}{(c^2 + u)^{3/2}} \cdot \frac{z^2}{p} - \left(\text{Log} \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} - \varepsilon \right) \right] \cdot \frac{a^2 c}{(c^2 - a^2)^{3/2}},$$

et par suite j'obtiens l'anomalie magnétique due à la présence de

cet ellipsoïde suivant un profil confondu avec l'axe des x par la relation :

$$(c) \left\{ \begin{aligned} \Delta Z = 4\pi \frac{a^2 c}{(c^2 - a^2)^{3/2}} \left[\frac{(c^2 - a^2)^{3/2}}{(c^2 + u)^{3/2}} \cdot \frac{z^2}{p} - \left(\text{Log} \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} - \varepsilon \right) \right] C + \\ + 4\pi \frac{a^2 c}{(a^2 + u)} \frac{1}{(c^2 + u)^{1/2}} \cdot \frac{xz}{p} A. \end{aligned} \right.$$

3° Aimantation de la sphère.

Faisons

$$e = 0 \quad \text{et} \quad a = c$$

on obtient

$$L = M = N = \frac{4\pi}{3}$$

et comme

$$p = r^2 = x^2 + y^2 + z^2, \quad u = x^2 + y^2 + z^2 - a^2 = r^2 - a^2, \\ \text{d'où } r^2 = a^2 + u;$$

on arrive à l'expression

$$\Delta Z = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{a^3}{r^5} [-(x^2 + y^2 - 2z^2) C + 3(Ax + By)z];$$

avec

$$A = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{\mu - 1}{2 + \mu} \mathfrak{A}; \quad B = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{\mu - 1}{2 + \mu} \mathfrak{B}; \quad C = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{\mu - 1}{2 + \mu} \mathfrak{C}$$

on aura donc

$$\Delta Z = \frac{\mu - 1}{2 + \mu} \cdot \frac{a^3}{r^5} [-(x^2 + y^2 - 2z^2) \mathfrak{C} + 3(\mathfrak{A}x + \mathfrak{B}y)z].$$

Or, le long d'un profil nord-sud, on a

$$y = 0, \quad \mathfrak{B} = 0, \quad \mathfrak{A} = H \quad \text{et} \quad \mathfrak{C} = Z$$

de sorte que

$$\Delta Z = \frac{\mu - 1}{2 + \mu} \cdot \frac{a^3}{r^5} [-(x^2 - 2z^2) Z + 3xzH];$$

où x caractérise la seule variable indépendante. μ est la perméabilité magnétique; a et z le rayon et la profondeur du centre de la sphère. Ces deux dernières grandeurs doivent donc toujours

être comptées dans le même système d'unités (kilomètre ou mètre).
Pour l'Alsace, comme on peut poser pratiquement

$$Z = 0,4 \text{ CGS} \quad \text{et} \quad H = 0,2 \text{ CGS},$$

on peut écrire en définitive

$$(d) \quad \Delta Z = 0,2 \frac{\mu - 1}{2 + \mu} \cdot \frac{a^3}{(x^2 + z^2)^{5/2}} \cdot [2(2x^2 - x^2) + 3xz].$$

On trouverait de la même manière l'expression de ΔH d'après de celle relative à l'ellipsoïde; ainsi

$$(e) \quad \Delta H = 0,2 \frac{\mu - 1}{2 + \mu} \cdot \frac{a^3}{(x^2 + z^2)^{5/2}} \cdot [(2x^2 - z^2) + 6xz];$$

qui caractérise l'anomalie de la composante horizontale le long du même profil.

4° Aimantation du cylindre indéfini à section elliptique. (Axe dirigé suivant EW magnétique.)

En faisant $b = \infty$, $a \neq c \neq 0$ dans les formules générales, on a :

$$X = - 2\pi ac \cdot x \int_u^\infty \frac{d\lambda}{(a^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}},$$

$$Y = 0,$$

$$Z = - 2\pi ac \cdot z \int_u^\infty \frac{d\lambda}{(c^2 + \lambda) \sqrt{(a^2 + \lambda)(c^2 + \lambda)}}.$$

Or, un changement de variables :

$$l = \sqrt{\frac{a^2 + \lambda}{c^2 + \lambda}}$$

et

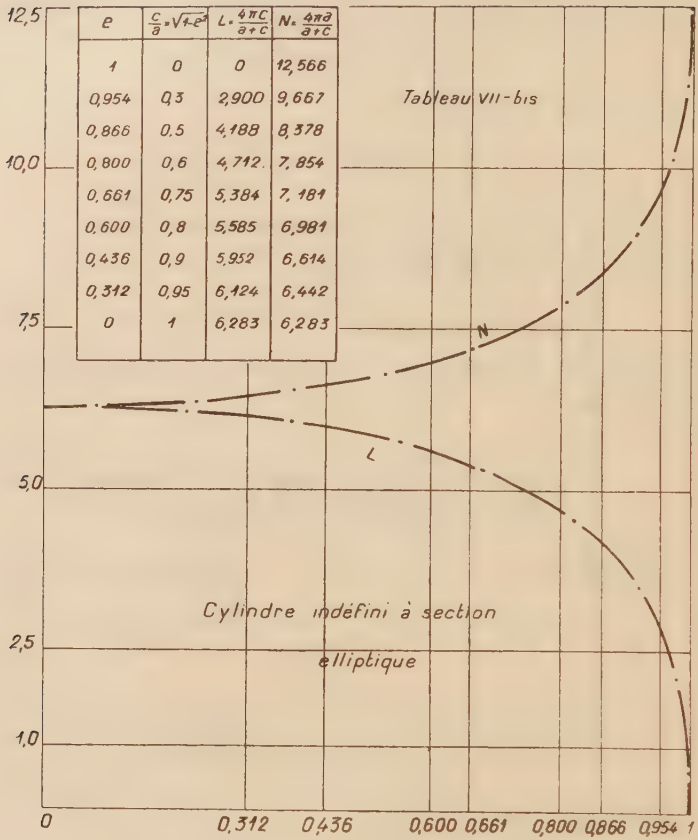
$$s = \sqrt{\frac{c^2 + \lambda}{a^2 + \lambda}}$$

amènerait :

$$X = - 4\pi \frac{ac}{a^2 - c^2} \left(1 - \sqrt{\frac{c^2 + u}{a^2 + u}} \right) \cdot x,$$

$$Y = 0,$$

$$Z = - 4\pi \frac{ac}{a^2 - c^2} \left(\sqrt{\frac{a^2 + u}{c^2 + u}} - 1 \right) \cdot z;$$



avec

$$2u = (x^2 + z^2 - c^2 - a^2) + \sqrt{(x^2 + z^2)^2 + (c^2 - a^2)[c^2 - a^2 - 2(z^2 - x^2)]};$$

d'où l'on déduit

$$\Delta Z = -\frac{\partial \Omega}{z} = A \frac{\partial X}{z} + C \frac{\partial Z}{z}.$$

Posons

$$a' = \sqrt{a^2 + u}, \quad c' = \sqrt{c^2 + u};$$

de sorte que

$$X = -4\pi ac \frac{1}{a'(a'+c)} \cdot y; \quad Z = -4\pi ac \frac{1}{c'(a'+c)} \cdot z;$$

on trouve

$$\frac{\partial X}{\partial z} = 4\pi ac \frac{xz}{a'c'(a'^2 + c'^2 - x^2 - z^2)},$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x} = 4\pi ac \left[\frac{1}{c'(a'+c')} - \frac{a'z^2}{c'^3(a'^2 + c'^2 - x^2 - z^2)} \right].$$

Quant aux valeurs de L, M, N, on a

$$L = 4\pi \frac{c}{a+c}; \quad M = 0; \quad N = 4\pi \frac{a}{a+c};$$

avec

$$A = \frac{\kappa}{1+\kappa L} \mathfrak{A}_0; \quad C = \frac{\kappa}{1+\kappa N} \mathfrak{C}_0.$$

De sorte que

$$\Delta Z = 4\pi \frac{ac}{a'c'} \left[\frac{xz}{p} A + \left(\frac{a'^2}{c'^2} \cdot \frac{z^2}{p} - \frac{a'}{a'+c'} \right) C \right];$$

où

$$p = a'^2 + b'^2 - x^2 - z^2 =$$

$$= \sqrt{(x^2 + z^2)^2 + (a^2 - c^2) [a^2 - c^2 + 2(z^2 - x^2)]}.$$

5° *Aimantation du cylindre indéfini à section circulaire.*
(Axe dirigé suivant EW magnétique.)

C'est un cas particulier déduit du précédent avec $a = c$, de sorte que

$$a' = c' = \sqrt{x^2 + z^2}, \quad p = a'^2 + c'^2 - x^2 - z^2 = x^2 + z^2 = r^2$$

$$a'c' = x^2 + z^2$$

on en déduit alors comme expression analytique de ΔZ ,

$$\Delta Z = 2\pi \frac{a^2}{(x^2 + z^2)^2} [2xz A + (z^2 - x^2) C];$$

suivant un profil magnétique confondu avec l'axe des x . Or,

$$A = \frac{\kappa}{1+\kappa L} \mathfrak{A}_0 = \frac{\kappa}{1+2\pi\kappa} \mathfrak{A}_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\mu-1}{\mu+1} H = \frac{0,3}{2\pi} \cdot \frac{\mu-1}{\mu+1} (\text{CGS});$$

$$C = \frac{\kappa}{1+\kappa N} \mathfrak{C}_0 = \frac{\kappa}{1+2\pi\kappa} \mathfrak{C}_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\mu-1}{\mu+1} \mathfrak{C}_0 = \frac{0,4}{2\pi} \cdot \frac{\mu-1}{\mu+1} (\text{CGS});$$

pour la latitude moyenne de l'Alsace. Dans ces conditions, pour cette région de la France, l'expression analytique de ΔZ cherchée et comptée dans le système CGS, m'est donnée par

$$\Delta Z = 0,4 \frac{\mu - 1}{\mu + 1} \cdot \frac{a^3}{(x^2 + z^2)^{3/2}} \cdot (xz + z^2 - x^2).$$

Cette équation, comme toutes celles relatives aux autres formes géométriques, est homogène et d'ordre zéro par rapport à a , x et z . Ces grandeurs étant comptées toujours dans une même unité (kilomètre ou mètre), ΔZ pourra s'exprimer à volonté, en gauss (CGS) ou en gammas.

6° Aimantation des couches planes horizontales d'épaisseur finie ($z_2 - z_1$).

La méthode de Poisson est également applicable. En effet, le potentiel élémentaire magnétique en un point M a pour expression

$$d\Omega = -AX_0 - BY_0 - CZ_0$$

où X_0 , Y_0 , Z_0 sont les composantes élémentaires de l'attraction newtonienne relative à un élément de masse de densité $\sigma = 1$. Suivant que M se trouve sur l'axe des x ($a, 0, 0$) ou sur l'axe des y ($0, a, 0$), on a

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{x-a}{r^3} dv & \text{ou} & & X_0 &= \frac{x}{r^3} dv \\ Y_0 &= \frac{y}{r^3} dv & \text{ou} & & Y_0 &= \frac{y-a}{r^3} dv \\ Z_0 &= \frac{z}{r^3} dv & \text{ou} & & Z_0 &= \frac{z}{r^3} dv. \end{aligned}$$

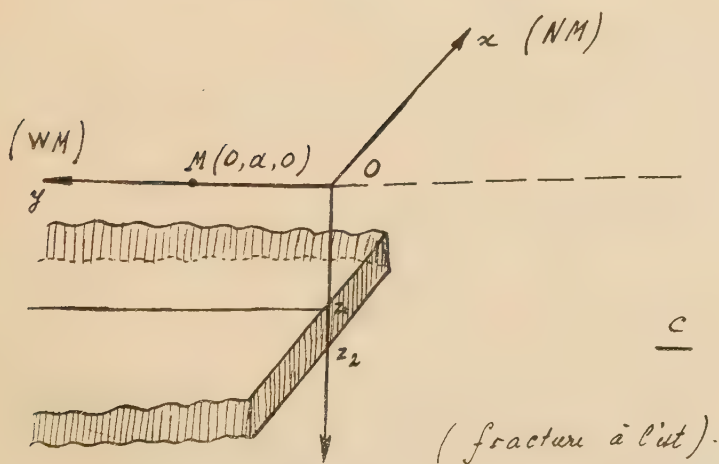
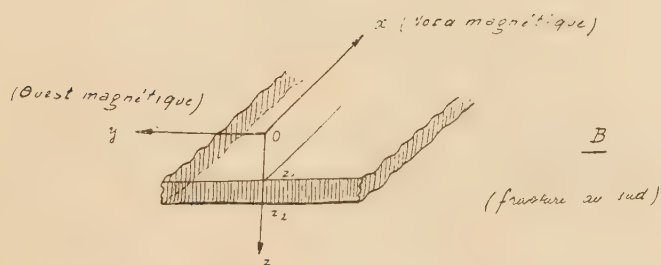
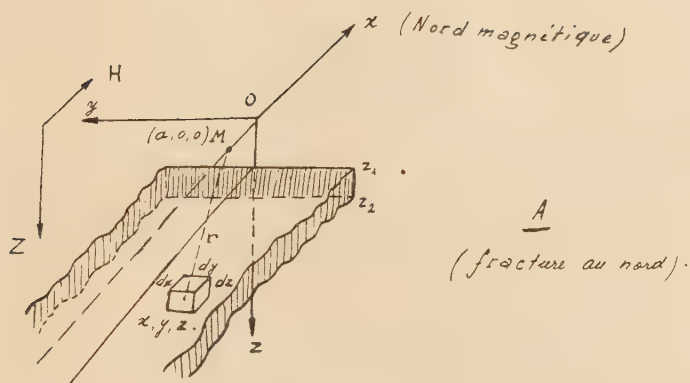
de sorte que le potentiel magnétique total en M sera

$$(a_0) \quad \Omega = -x \iiint_V \left(H \frac{x-a}{r^3} + Z \frac{z}{r^3} \right) dx dy dz;$$

(profil nord-sud)

avec

$$r^2 = (x-a)^2 + y^2 + z^2.$$



Figs. 10.

ou

$$(b_*) \quad \Omega = -x \iiint_V \left(H \frac{x}{r^3} + Z \frac{z}{r^3} \right) dx dy dz;$$

(profil est-ouest)

avec

$$r^2 = x^2 + (y-a)^2 + z^2;$$

d'où l'on déduit

$$\Delta Z = - \frac{\delta \Omega}{\delta z}.$$

1° *Profil nord-sud, A ou B.* — On en déduit :

$$(h) \quad \Delta Z = 2\kappa \left[H \operatorname{Log} \frac{(x-a)^2 + z^2}{z^2} + Z \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{x-a}{z} \right]_{z_1}^{z_2}$$

2° *Profil est-ouest, C.* — On a de même

$$(i) \quad \Delta Z = 2\kappa Z \left(\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{a}{z_2} - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{a}{z_1} \right) = 2\kappa Z (\alpha_2 - \alpha_1).$$

où $Z = 0,4$ CGS environ (Alsace); et κ varie de 1.10^{-3} à 1.10^{-5} pour les différentes formations géologiques dans cette contrée.

Enfin, il est facile de constater que dans le cas d'une fracture à face frontale inclinée, on a comme expression de

$$(j) \quad \Delta Z = 2\kappa Z \left[\operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{(z_2 - z_1) \operatorname{tg} \beta + a}{z_2} - \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{(z_2 - z_1) \operatorname{tg} \beta + a}{z_1} \right],$$

où β est l'angle d'inclinaison de cette face (fig. 11).

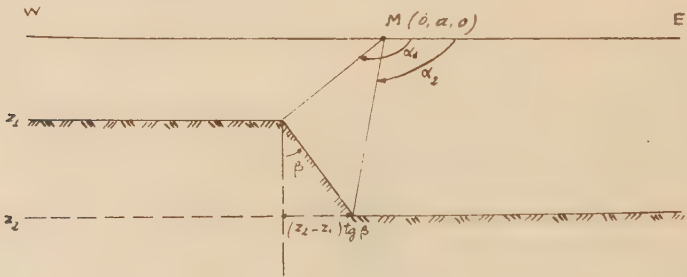


Fig. 11.

Les expressions (a_0) et (b_0) peuvent s'obtenir également en partant d'une formule générale établie par M. E. Rothé (111 bis, p. 105) pour servir au calcul d'un corps de forme quelconque quand l'intégration est possible.

CHAPITRE V.

APPLICATIONS PRATIQUES.

La susceptibilité magnétique κ de la majorité des formations géologiques variant de 1.10^{-3} à 1.10^{-5} , A, B, C deviennent pratiquement indépendants de L, M, N; et par suite, je pose approximativement pour la latitude moyenne de l'Alsace

$$A = \kappa A_0 = \kappa H = 0,2 \kappa \text{ CGS,}$$

$$B = \kappa B_0 = 0$$

$$C = \kappa C_0 = \kappa Z = 0,4 \kappa \text{ CGS.}$$

1° *Ellipsoïde de révolution aplati.*

Pour $\frac{c}{a} = \frac{1}{2}$, $\left(c = \frac{a}{2}\right)$, $L = M = 2,98$, $N = 6,60$;
 $H = 0,2$ et $Z = 0,4$ CGS;

j'ai très approximativement :

$$\Delta Z = 2\pi a^3 \kappa \cdot 0,4 \cdot \left[-\left(\frac{1}{3} - \frac{z^2}{p}\right) + \frac{xz}{2p} \cdot \frac{x^2 + z^2 + p - \frac{3}{4}a^2}{x^2 + z^2 + p + \frac{3}{4}a^2} \right] \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{3/2} \left[x^2 + z^2 + p - \frac{3}{4}a^2 \right]^{3/2}$$

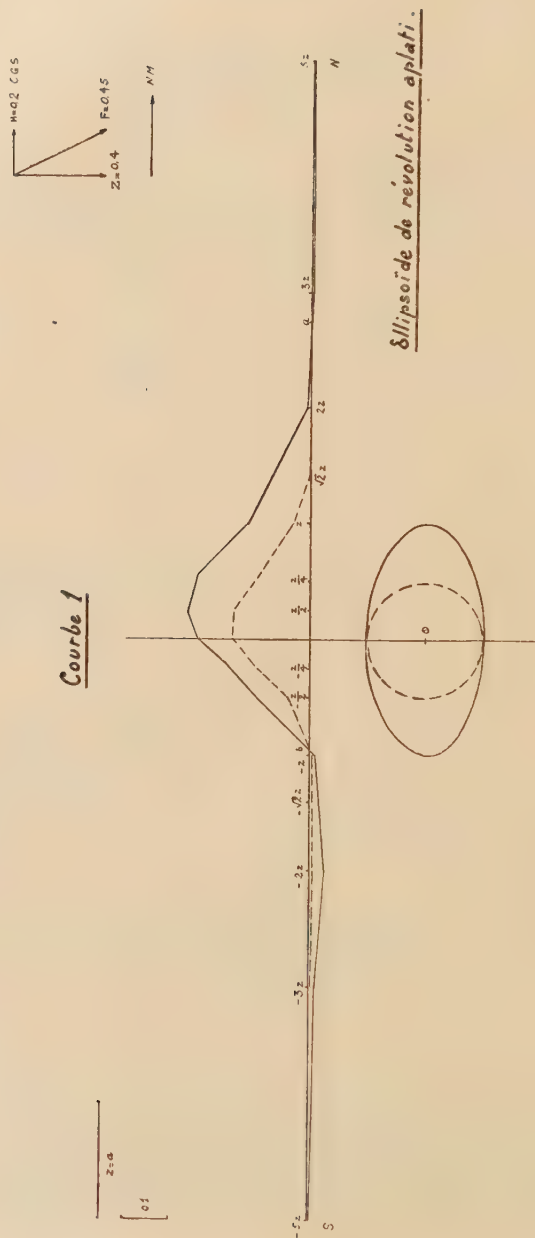
avec

$$p = \sqrt{(x^2 + z^2)^2 + \frac{3}{4}a^2 \left[\frac{3}{4}a^2 + 2(z^2 - x^2) \right]}.$$

Or, en admettant comme profondeur du centre de l'ellipsoïde particulier que j'envisage, $z = a$, je donne dans le tableau IX les différentes valeurs numériques de p en fonction de celles de x .
Ainsi

TABLEAU IX.

$x = 0$	$\left. \begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{c} K_0 a \\ = \\ 2 \end{array}$	$p = 1,75 a^2$	$\left. \begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} p = ka^2$
$x = \pm \frac{a}{4}$		$p = 1,76 a^2$	
$x = \pm \frac{a}{2}$		$p = 1,80 a^2$	
$x = \pm a$		$p = 2,136 a^2$	
$x = \pm 2a$		$p = 4,59 a^2$	
$x = \pm 3a$		$p = 9,344 a^2$	
$x = \pm 5a$		$p = 25,29 a^2$	



où
$$p = \frac{1}{4} \sqrt{(4x^2 + 7a^2)^2 - 48x^2a^2}.$$

J'en déduis alors

$$\Delta Z = 4\pi\kappa_{0,2} \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{3} + \frac{k_0}{2k} \cdot \frac{k_0^2 + k + \frac{1}{4}}{k_0^2 + k + \frac{7}{4}} \right) \cdot \frac{2\sqrt{2}}{\left(k_0^2 + k + \frac{1}{4}\right)^{3/2}},$$

de sorte que j'ai

TABLEAU X.

$x.$	$k_0.$	$k.$	$\frac{\Delta Z}{4\pi\kappa_{0,2}}$
0	0	1,75	0,2381
$\frac{a}{4}$	$\frac{1}{4}$	1,76	0,2617
$\frac{a}{2}$	$\frac{1}{2}$	1,80	0,2484
a	1	2,14	0,1341
$2a$	2	4,59	0,00761
$3a$	3	9,34	- 0,00274
$5a$	5	25,29	- 0,001557
$-\frac{a}{4}$	$-\frac{1}{4}$	1,76	0,1836
$-\frac{a}{2}$	$-\frac{1}{2}$	1,80	0,1120
$-a$	- 1	2,14	- 0,0127
$-2a$	- 2	4,59	- 0,03247
$-3a$	- 3	9,34	- 0,01322
$-5a$	- 5	25,29	- 0,00307

La courbe 1 représente ainsi le profil magnétique nord-sud de ΔZ que je déduis d'après les valeurs numériques ci-dessus. Ce profil est confondu avec l'axe des x et par suite, il est symétriquement placé par rapport à l'ellipsoïde de révolution envisagé.

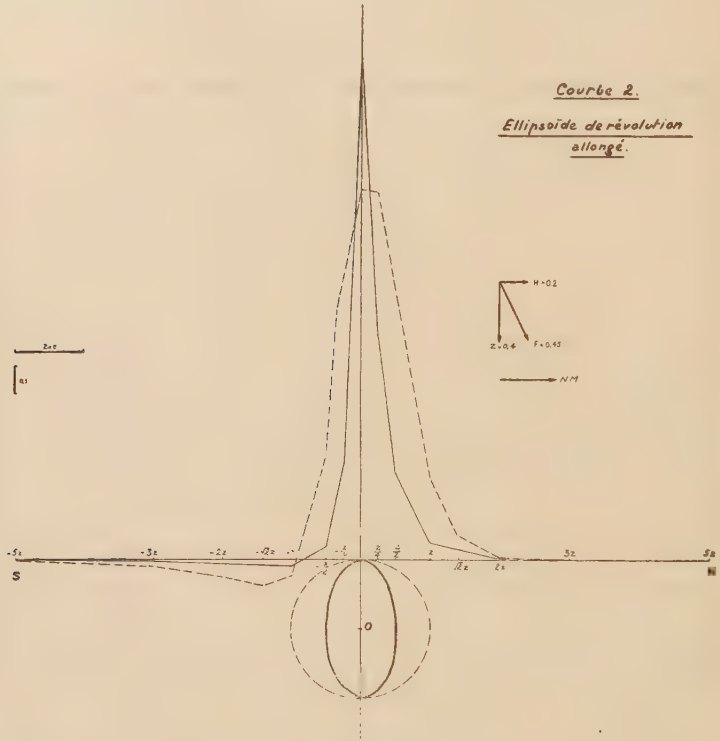
2° Ellipsoïde de révolution allongé.

L'expression générale de ΔZ se transforme très approximativement en :

$$\Delta Z = 4\pi\kappa_{0,2} \frac{c^3}{(c^2 + u)^{3/2}} \left[\left(\frac{z^2}{v} - \frac{1}{3} \right) + \frac{c^2 + u}{c^2 + u} \cdot \frac{xz}{2p} \right].$$

$$a = \frac{c}{2}, \quad A = 0,2 \pi, \quad C = 0,4 \pi;$$

$$p = \frac{1}{4} \sqrt{(c^2 + 4x^2)^2 + 48c^2x^2}$$



Afin de rendre ΔZ indépendant de p et de x , je pose

$$p = kc^2 \quad \text{et} \quad x = k_0c$$

où k et k_0 sont des nombres rationnels. Pour l'ellipsoïde particulier ci-dessus et dont le centre est à $z = c$, l'expression de ΔZ est donnée par :

$$\Delta Z = 4\pi \pi \cdot 0,2 \cdot \left[\left(\frac{1}{k} - 3 \right) + \frac{k_0^2 + k + \frac{7}{4}}{k_0^2 + k + \frac{1}{4}} \cdot k_0 \right] \cdot \frac{\sqrt{3}}{\left(k_0^2 + k + \frac{7}{4} \right)^{3/2}}$$

Je donne dans le tableau XI les valeurs numériques de ΔZ pour une série de valeurs de x en fonction de c .

TABLEAU XI.

$x.$	$h_o.$	$k.$	$\frac{\Delta Z}{4\pi \kappa_{0,2}}$
0	0	$\frac{1}{4}$	1,8333
$\frac{c}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{\sqrt{73}}{16}$	0,8614
$\frac{c}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0,3175
c	1	$\frac{\sqrt{73}}{4}$	0,06192
2 c	2	$\frac{\sqrt{481}}{4}$	0,002233
3 c	3	$\frac{\sqrt{1801}}{4}$	— 0,001246
5 c	5	$\frac{\sqrt{11401}}{4}$	— 0,00104
$-\frac{c}{4}$	$-\frac{1}{4}$	$\frac{\sqrt{73}}{16}$	0,3503
$-\frac{c}{2}$	$-\frac{1}{2}$	1	0,04536
$-c$	- 1	$\frac{\sqrt{73}}{4}$	— 0,02658
$-2c$	- 2	$\frac{\sqrt{481}}{4}$	— 0,01358
$-3c$	- 3	$\frac{\sqrt{1801}}{4}$	— 0,005603
$-5c$	- 5	$\frac{\sqrt{11401}}{4}$	— 0,00112

La représentation graphique de ces valeurs est donnée par la courbe 2. C'est un profil nord-sud de ΔZ symétriquement placé par rapport à l'ellipsoïde de révolution envisagé. Ce profil est exactement dans la même échelle métrique que celui relatif à

l'ellipsoïde de révolution aplati (§ 1^{er}). La comparaison mutuelle en est donc immédiate. Déjà, il résulte de cette comparaison les constatations préliminaires suivantes que je développe d'ailleurs plus loin : a. *La courbure d'un profil nord-sud de ΔZ présente la même allure que celle de la surface perturbatrice, suivant la même direction ;*

b. *L'anomalie ΔZ est d'autant plus étalée ou localisée, suivant que la surface perturbatrice, envisagée à une même profondeur, est d'autant plus aplatie ou allongée.*

3° Sphère.

Les expressions générales de ΔZ et de ΔH relatives à la sphère sont

$$\frac{\Delta Z}{4\pi x \cdot 0,2} = J \cdot \frac{2(2z^2 - x^2) + 3xz}{z^2 \left(1 + \frac{x^2}{z^2}\right)^{5/2}} = J \cdot \frac{2\left(2 - \frac{x^2}{z^2}\right) + 3\frac{x}{z}}{\left(1 + \frac{x^2}{z^2}\right)^{5/2}};$$

$$\frac{\Delta Z}{4\pi x \cdot 0,2} = J \cdot \frac{2x^2 - z^2 + 6xz}{z^2 \left(1 + \frac{x^2}{z^2}\right)^{5/2}} = J \cdot \frac{2\frac{x^2}{z^2} - 1 + 6\frac{x}{z}}{\left(1 + \frac{x^2}{z^2}\right)^{5/2}};$$

avec

$$J = \frac{1}{3} \cdot \frac{a^3}{z^3}.$$

Je donne dans le tableau XII les valeurs numériques calculées des deux facteurs

$$\frac{2(2z^2 - x^2) + 3xz}{z^2 \left(1 + \frac{x^2}{z^2}\right)^{5/2}} \quad \text{et} \quad \frac{2x^2 - z^2 + 6xz}{z^2 \left(1 + \frac{x^2}{z^2}\right)^{5/2}}$$

en fonction de

$$x = k_0 z;$$

avec

$$k_0 = (x, \pm \frac{1}{4}, \pm \frac{1}{3}, \pm \frac{1}{2}, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 5)$$

L'expression de

$$J = \frac{1}{3} \cdot \frac{a^3}{z^3}$$

n'est donc plus qu'un coefficient numérique d'amplification ou de réduction.

TABLEAU XII.

x'	$\frac{\Delta H}{4\pi\kappa\ 0,2}$	$\frac{\Delta Z}{4\pi\kappa\ 0,2}$
0	- 1 J	4 J
$\frac{z}{4}$	0,537 J	3,975 J
$\frac{z}{2}$	1,358 J	2,862 J
$\frac{z}{\sqrt{2}}$	1,540 J	"
z	1,237 J	0,884 J
$\sqrt{2}z$	"	0,272 J
2 z	0,340 J	0,036 J
3 z	0,1107 J	- 0,016 J
5 z	0,023 J	- 0,009 J
$-\frac{z}{4}$	- 2,041 J	2,685 J
$-\frac{z}{2}$	- 1,958 J	1,145 J
$-\frac{z}{\sqrt{2}}$	- 1,540 J	"
- z	- 0,884 J	- 0,177 J
$-\sqrt{2}z$	"	- 0,272 J
- 2 z	- 0,089 J	- 0,179 J
- 3 z	- 0,003 J	- 0,073 J
- 5 z	+ 0,0055 J	- 0,018 J

On trouve également

$$\Delta H = 0 \text{ pour } x' = 0,158 z \text{ et } x'' = -3,158 z,$$

$$\Delta X = 0 \text{ pour } x' = 2,351 z \text{ et } x'' = -0,851 z.$$

Nous constatons aisément que les courbes représentatives de $\frac{\Delta H}{4\pi\kappa\ 0,2}$ ou de $\frac{\Delta Z}{4\pi\kappa\ 0,2}$ (courbes 3) restent respectivement inchangées pour une même valeur de J ou de $\frac{a}{z}$. Par contre, pour une profondeur z , si je fais varier $\frac{a}{z}$ de 1 à 0 :

$$\frac{a}{z} = \left(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{10}, \dots \right),$$

on en déduit

$$J = \frac{1}{3} \left(\frac{a}{z} \right)^3 = \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{24}, \frac{1}{81}, \frac{1}{192}, \frac{1}{375}, \frac{1}{3000}, \dots \right).$$

Je trace alors les profils de $\frac{\Delta Z}{4\pi \kappa \cdot 0,2}$ relatifs aux valeurs de :

$$J = \left(\frac{1}{3} \text{ et } \frac{1}{24} \right) \text{ ou encore de } \frac{a}{z} = \left(1 \text{ et } \frac{1}{2} \right).$$

TABLEAU XIII.

$x.$	$\frac{\Delta Z}{4\pi \kappa \times 0,2}$	
	$J = \frac{1}{3}$	$J = \frac{1}{24}$
0	1,333	0,167
$\frac{z}{4}$	1,325	0,166
$\frac{z}{2}$	0,954	0,119
z	0,295	0,037
$\sqrt{2} z$	0,091	0,011
$2 z$	0,012	0,01
$3 z$	— 0,005	"
$5 z$	— 0,003	"
$-\frac{z}{4}$	0,895	0,112
$-\frac{z}{2}$	0,382	0,048
$-z$	— 0,059	— 0,008
$-\sqrt{2} z$	— 0,091	— 0,011
$-2z$	— 0,060	— 0,008
$-3z$	— 0,024	— 0,003
$-5z$	— 0,006	"

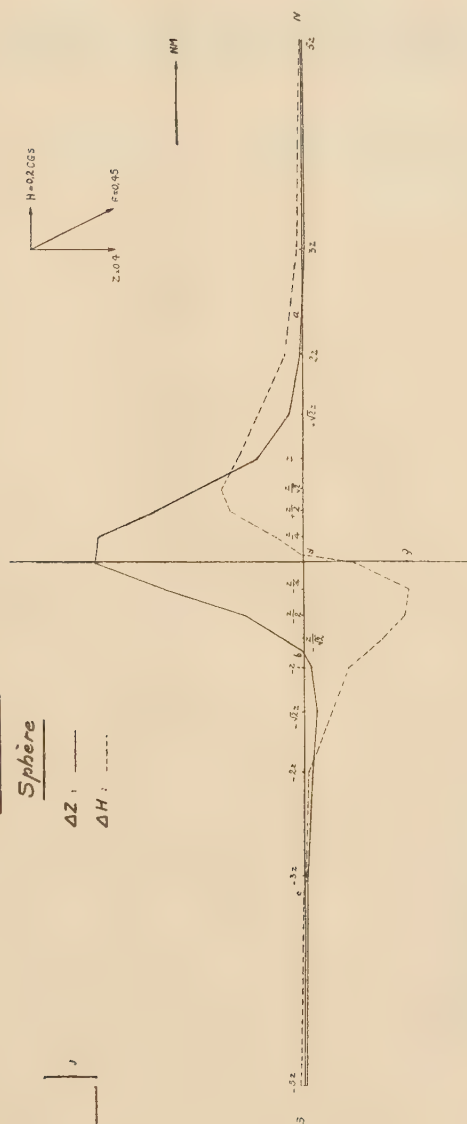
qui comparées respectivement avec les deux profils magnétiques correspondant aux ellipsoïdes aplati et allongé (courbes 1 et 2), vérifient bien les constatations que j'ai annoncées précédemment (p. 90). En plus, je constate également que lors de l'aimantation des structures (elliptique ou sphérique) de courbures différentes, les

Courbes 3

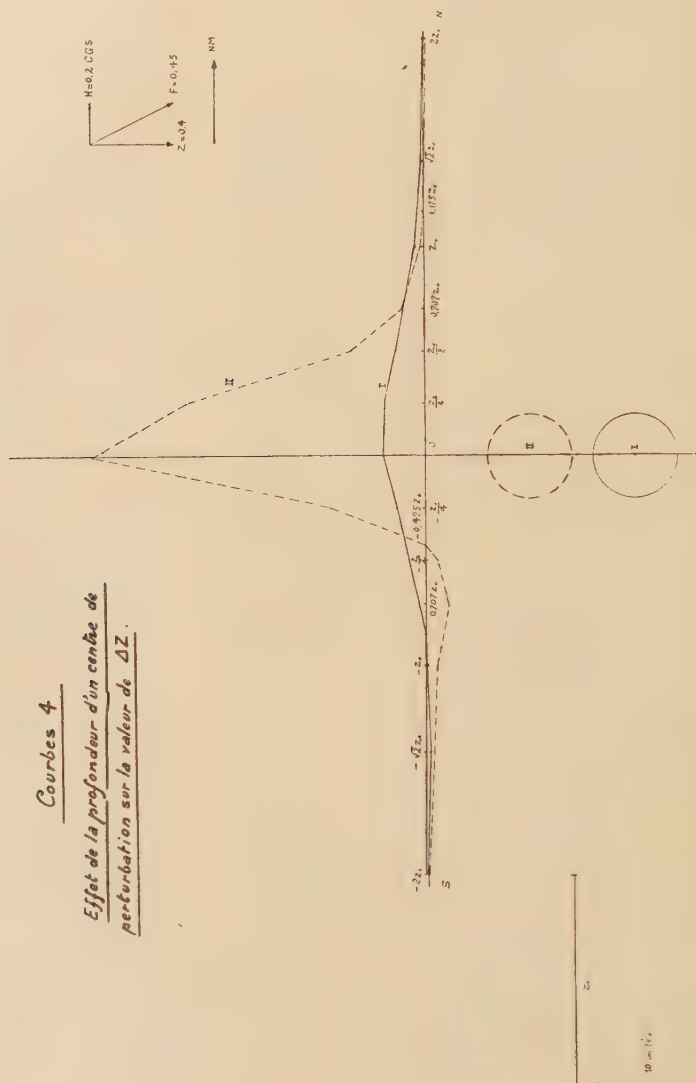
Sphère

ΔZ : ———

ΔH : - - - -



mesures magnétiques conduisent fréquemment à des profils qui sont pratiquement semblables. Ce fait complique beaucoup toute interprétation de détail.



Effet de la profondeur d'une masse perturbatrice sur l'allure générale des profils magnétiques.

Je considère le cas simple d'une structure de forme sphérique, d'un rayon R et placée successivement aux profondeurs $z = z_0$ et $z = \frac{z_0}{3}$. L'anomalie ΔZ créée par cette structure suivant un profil N.-S., s'exprime par les deux expressions :

$$I_1 = \frac{\Delta Z_1}{4\pi\kappa \cdot 0,2} = J \cdot \frac{2 \left(2 - \frac{x^2}{z_0^2} \right) + 3 \frac{x}{z_0}}{\left(1 + \frac{x^2}{z_0^2} \right)^{5/2}},$$

et

$$I_2 = \frac{\Delta Z_2}{4\pi\kappa \cdot 0,2} = J \cdot 8 \frac{2 \left(2 - 4 \frac{x^2}{z_0^2} \right) + 6 \frac{x}{z_0}}{\left(1 + 4 \frac{x^2}{z_0^2} \right)^{5/2}};$$

avec

$$J = \frac{1}{3} \frac{R^3}{z_0^3},$$

qui me donnent les valeurs numériques du tableau XIV.

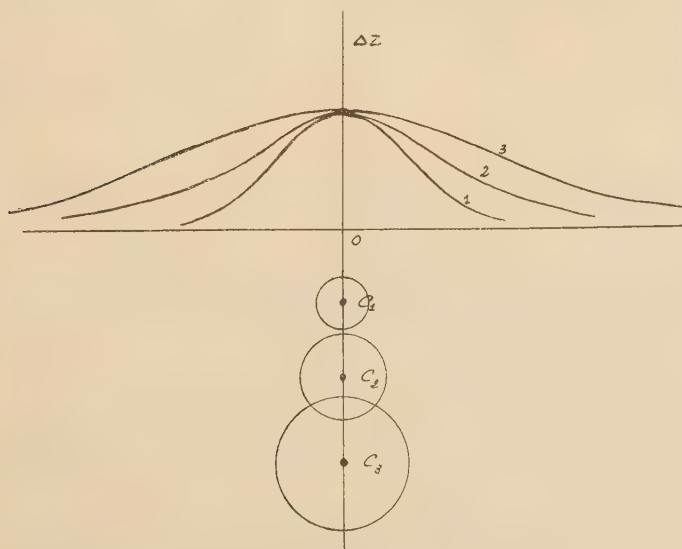


Fig. 12.

TABLEAU XIV.

$x.$	$I_1.$	$I_2.$
0	4 J	32 J
$\frac{z_0}{4}$	3,975	22,897
$\frac{z_0}{2}$	2,862	7,071
$\frac{z_0}{\sqrt{2}}$	"	2,177
z_0	0,884 5 fois de la valeur pour $x = -z_0.$	0,286
$\sqrt{2} z_0$	0,272	"
$2 z_0$	0,036	- 0,1074
$3 z_0$	- 0,016	- 0,0480
$5 z_0$	- 0,009	- 0,0129
$-\frac{z_0}{4}$	2,685 J	9,159 J
$-\frac{z_0}{2}$	1,145	- 1,414
$-\frac{z_0}{\sqrt{2}}$	"	- 2,177
$-z_0$	- 0,177	- 1,430 exactement 5 fois de la valeur pour $x = z_0.$
$-\sqrt{2} z$	- 0,272	"
$-2z_0$	- 0,179	- 0,2685
$-3z_0$	- 0,073	- 0,0826
$-5z_0$	- 0,018	- 0,0176

où $\Delta Z_2 = 0$ pour $x' = 1,175 z_0$ et $x'' = -0,425 z_0$.

En présentant les valeurs de I_1 et I_2 sur un même graphique, mais à une même échelle convenable, je constate que (courbes 4) :

1° Le profil ΔZ relatif à une même structure placée à des profondeurs différentes, est d'autant plus atténué et étalé que lorsque sa profondeur est d'autant plus élevée ;

2° Pour une même valeur numérique de ΔZ , une structure relativement superficielle conduit à un profil magnétique sur lequel ΔZ est net

tement localisé. Par contre, sur le profil magnétique d'une structure profonde, la même valeur de ΔZ s'étale sur une distance de plus en plus élevée (fig. 12).

REMARQUE. — L'étude de l'aimantation de la sphère me semble intéressante par les résultats pratiques simples qui en résultent.

Ainsi, je constate qu'au point 0 où $x = 0$ et $\Delta Z = K \left(\frac{R}{Z}\right)^3$ avec

$K = \frac{3,2}{3} \pi \kappa$ pour une même valeur de κ :

1° ΔZ garde une valeur constante pour $\frac{R}{Z} = C^{\text{te}}$;

2° Pour $R = C^{\text{te}}$, ΔZ est inversement proportionnel au cube de la profondeur du milieu perturbateur. La décroissance de ΔZ est donc très rapide avec la profondeur z ;

3° Pour $z = C^{\text{te}}$, ΔZ est directement proportionnel au cube du rayon R qui caractérise la courbure de la surface de discontinuité. Pour de faibles variations de R , il en résulte donc de grandes variations de ΔZ . Ainsi, R variant de R_0 à $2R_0$, ΔZ varie de ΔZ_0 à $8\Delta Z_0$ (par exemple de 50 à 400 γ).

Pour nous fixer les idées, adoptons la valeur de $\kappa = 3000 \cdot 10^{-6}$ (ordre de grandeur de la susceptibilité magnétique des roches basiques de profondeur), on aura

$$\Delta Z = \frac{3,2}{3} \pi \cdot 3000 \cdot 10^{-6} = 1005,3 \left(\frac{R}{z}\right)^3 \text{ en gammas,}$$

de sorte que pour

$$\frac{R}{z} = 1 \text{ on a } \Delta Z = 1000 \gamma \text{ environ;}$$

$$\frac{R}{z} = \frac{1}{2} \text{ on a } \Delta Z = 125 \gamma \text{ environ;}$$

$$\frac{R}{z} = \frac{1}{3} \text{ on a } \Delta Z = 37 \gamma \text{ environ;}$$

$$\frac{R}{z} = \frac{1}{4} \text{ on a } \Delta Z = 16 \gamma \text{ environ;}$$

$$\frac{R}{z} = \frac{1}{5} \text{ on a } \Delta Z = 8 \gamma \text{ environ;}$$

Dans ces conditions, une masse sphérique ne pourrait être décelable par l'emploi du variomètre magnétique que lorsque la profondeur de son centre est au maximum quatre fois celle de son rayon. Ce cas serait surtout à envisager dans le cas de la recherche des amas métalliques de forme plus ou moins sphérique.

4° *Cylindre horizontal à section elliptique.*
(Axe suivant E-W magnétique.)

Pour le cas particulier envisagé

$$z = a \quad \text{et} \quad c = \frac{a}{2}$$

j'ai

$$\Delta Z = 4\pi\kappa \cdot 0.2 \cdot$$

$$\cdot \frac{a^2}{\sqrt{a^2 + u}} \sqrt{\frac{a^2}{4} + u} \left[\frac{ax}{2p} + \left(\frac{a^2 + u}{\frac{a^2}{4} + u} \cdot \frac{a^2}{p} - \frac{\sqrt{a^2 + u}}{\sqrt{\frac{a^2}{4} + u}} \right) \right];$$

avec

$$p = \frac{1}{4} \sqrt{(4z^2 + 7a^2) - 48 a^2 x^2}$$

TABLEAU XV.

Cylindre elliptique d'axe horizontal suivant E-W magnétique.

$x = k_0 a.$	$p = k a^2.$	$\frac{u}{2} \left(x^2 + p - \frac{a^2}{4} \right)$	$\frac{a^2}{4} + u.$	$a^2 + u.$	$\sqrt{\frac{a^2}{4} + u.}$	$\sqrt{a^2 + u.}$	$\frac{\Delta Z}{4\pi\kappa 0.2}$
0	1,75. a^2	0,75. a^2	a^2	1,75. a^2	a	1,323. a	0,3265
$x = \frac{a}{4}$	1,76. a^2	0,785. a^2	1,03. a^2	1,78. a^2	1,015. a	1,334. a	0,3582
$x = -\frac{a}{4}$	1,76. a^2	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	0,2533
$x = \frac{a}{2}$	1,80. a^2	0,90. a^2	1,15. a^2	1,90. a^2	1,072. a	1,378. a	0,3347
$x = -\frac{a}{2}$	1,80. a^2	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	0,1465
$x = a$	2,136. a^2	1,44. a^2	1,69. a^2	2,44. a^2	1,300. a	1,562. a	0,17935
$x = -a$	2,136. a^2	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	- 0,05122
$x = 2a$	4,59. a^2	4,17. a^2	4,42. a^2	5,17. a^2	2,102. a	2,274. a	- 0,009822
$x = -2a$	4,59. a^2	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	- 0,10095
$x = 3a$	9,344. a^2	9,051. a^2	9,30. a^2	10,051. a^2	3,049. a	3,170. a	- 0,024175
$x = -3a$	9,344. a^2	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	- 0,05739
$x = 5a$	25,29. a^2	25,02. a^2	25,27. a^2	26,02. a^2	5,027. a	5,101. a	- 0,01420
$x = -5a$	25,29. a^2	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	Idem.	- 0,02191

et

$$2u = x^2 - \frac{a^2}{4} + \frac{1}{4} \sqrt{(4x^2 + 7a^2) - 48a^2x^2}.$$

Je donne dans le tableau XV les valeurs numériques de ΔZ en fonction de $x = k_0 a$. La courbe 5 représente ces valeurs. L'échelle de cette représentation étant la même que dans les cas précédents, la comparaison avec le profil magnétique N.-S., dû à l'ellipsoïde de révolution, en est immédiate.

5° *Cylindre horizontal à section circulaire.*
(Axe suivant E-W magnétique.)

L'application de la formule générale

$$\Delta Z = 0,4 \frac{\mu - 1}{\mu + 1} \cdot a^2 \frac{xz + z^2 - x^2}{(x^2 + z^2)^2}$$

me conduit aux valeurs numériques du tableau XVI et à la représentation graphique de la courbe 6. Cette dernière comporte également la même échelle que dans les cas précédents.

TABLEAU XVI.

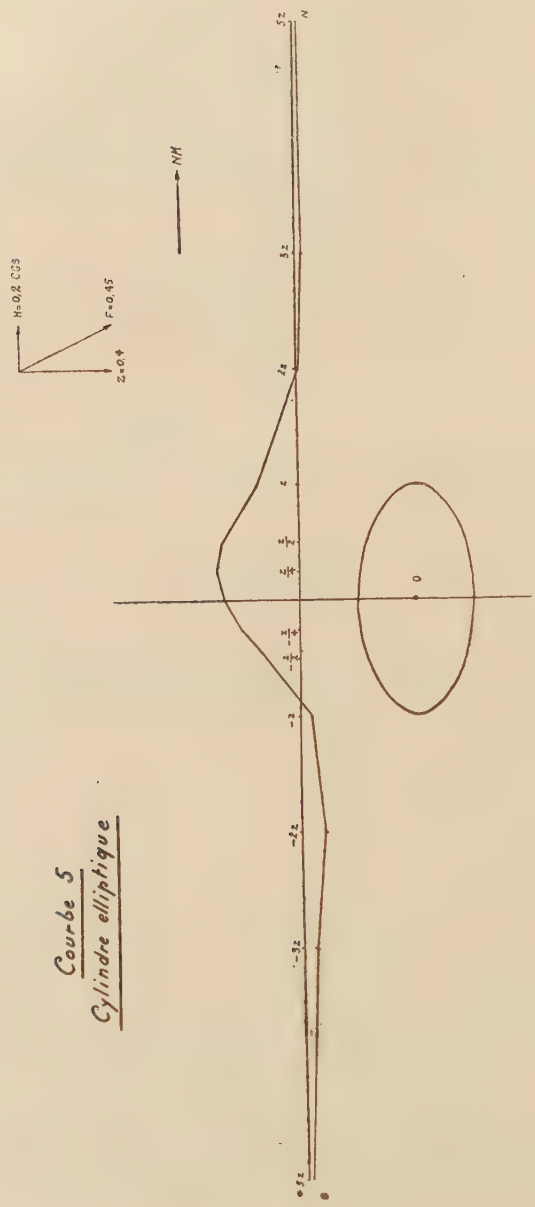
Cylindre circulaire d'axe horizontal suivant E-W magnétique.

$x = 0$	$\Delta Z = 0,4 \frac{\mu - 1}{\mu + 1} \cdot \frac{a^2}{z^2} \text{ J} =$ env. $4\pi \kappa 0,2 \frac{a^2}{z^2} \text{ J}.$		$\Delta Z = 0,4 \frac{\mu - 1}{\mu + 1} \cdot \frac{a^2}{z^2} \text{ J} =$ env. $4\pi \kappa 0,2 \frac{a^2}{z^2} \text{ J}.$
$x = + \frac{z}{4}$	$\Delta Z = 1,052 \text{ J}$	$x = - \frac{z}{4}$	$\Delta Z = 0,609 \text{ J}$
$x = + \frac{z}{2}$	$\Delta Z = 0,8 \text{ J}$	$x = - \frac{z}{2}$	$\Delta Z = 0$
$x = + z$	$\Delta Z = 0$	$x = - z$	$\Delta Z = 0$
$x = + 2z$	$\Delta Z = -0,04 \text{ J}$	$x = - 2z$	$\Delta Z = -0,2 \text{ J}$
$x = + 3z$	$\Delta Z = -0,05 \text{ J}$	$x = - 3z$	$\Delta Z = -0,11 \text{ J}$
$x = 5z$	$\Delta Z = -0,028 \text{ J}$	$x = - 5z$	$\Delta Z = -0,043 \text{ J}$

6° *Couches planes horizontales d'épaisseur finie.*

Dans le cas particulier de $z_1 = a$ et $z_2 = 2z_1$, les tableaux XVII et XVIII donnent les valeurs numériques de ΔZ relatives à deux fractures, droite et inclinée, ($B = 20^\circ$), suivant le Nord-Sud

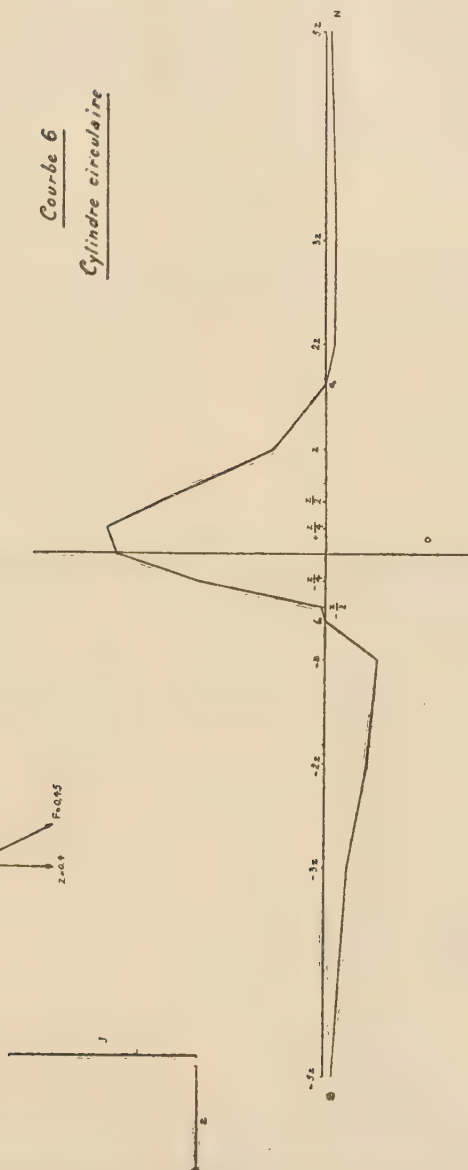
Courbe 5
Cylindre elliptique





$\longrightarrow NM$

Courbe 6
Cylindre circulaire



magnétique. Les profils correspondants, représentés par les courbes 7 et 8, sont supposés exécutés suivant l'Est-Ouest magnétique. Ils sont à la même échelle que dans les cas précédents. A première vue, on y constate une ressemblance frappante comme quoi l'inclinaison β de la face frontale de la fracture ne devant intervenir qu'au delà de $\beta > 20^\circ$.

TABLEAU XVII.

Fracture droite.

$a.$	$\alpha_2 - \alpha_1$ (en degrés).	$\alpha_2 - \alpha_1$ (en rad.).
$\pm \frac{z_1}{4}$	7,0	0,122173
$\pm \frac{z_1}{2}$	12,0	0,209440
$\pm \frac{z_1}{4}$	18,5	0,322
$\pm \frac{3z_1}{4}$	19,0	0,331613
$\pm \frac{3z_1}{2}$	15,0	0,261779
$\pm \frac{5z_1}{4}$	10,0	0,174533

TABLEAU XVIII.

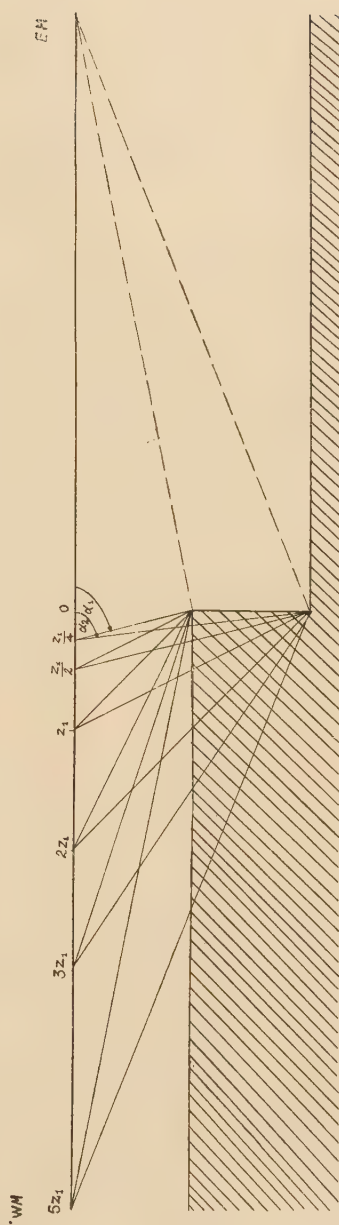
Fracture inclinée ($\beta = 20^\circ$).

$a.$	$\alpha_2 - \alpha_1$ (en degrés).	$\alpha_2 - \alpha_1$ (en rad.).
0	10	0,174533
$\frac{z_1}{4}$	15	0,261799
$\frac{z_1}{2}$	18	0,314159
$\frac{3z_1}{4}$	20	0,349066
$\frac{3z_1}{2}$	18	0,314159
$\frac{5z_1}{4}$	15	0,2611799
$\frac{5z_1}{2}$	10	0,174533
$-\frac{z_1}{4}$	— 4	0,069813
$-\frac{z_1}{2}$	— 5	— 0,087266
$-\frac{3z_1}{4}$	— 15	— 0,261799
$-\frac{3z_1}{2}$	— 20	— 0,349066
$-\frac{5z_1}{4}$	— 16	— 0,279053
$-\frac{5z_1}{2}$	— 11	— 0,191986

Courbe 7
Fracture (droite) suivant N.S. magnétique.

Echelle : 100 ($a_2 - a_1$) m/m

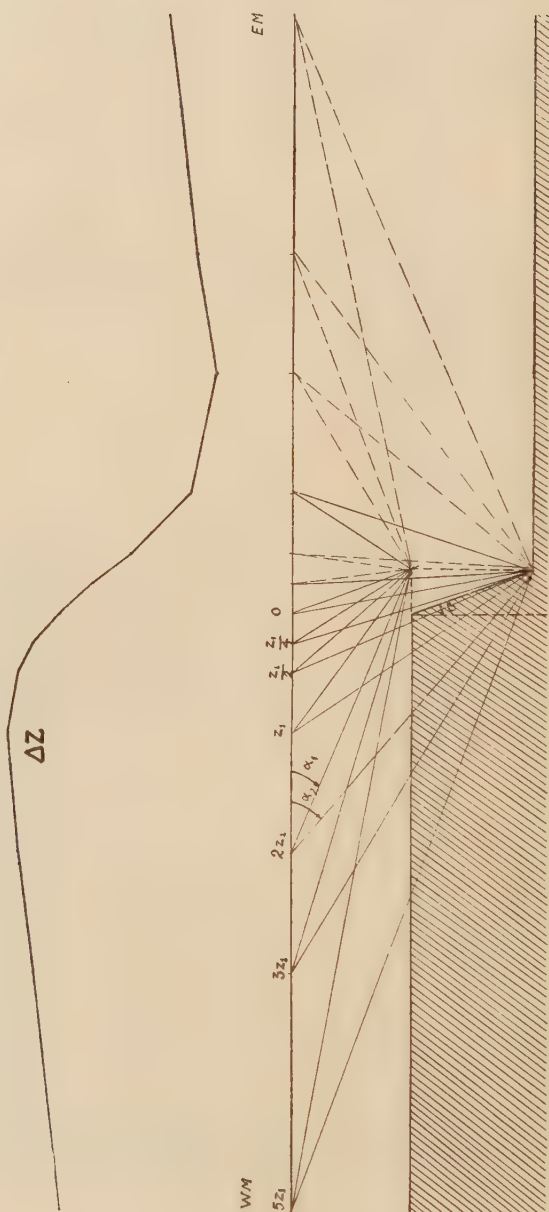
ΔZ



Courbe 8

Fracture (inclinée : $\beta = 20^\circ$) suivant N.S. magnétique.

Echelle : 100 ($\alpha_2 - \alpha_1$) m/m :



CHAPITRE VI.

MÉTHODES DE CALCUL DES STRUCTURES CAUSANT DES ANOMALIES MAGNÉTIQUES.

1° Difficulté d'application de la méthode d'exploration magnétique.

La forme des anomalies permet en principe de rechercher la position et la nature des causes qui la produisent; mais ce problème présente les plus grandes difficultés. En effet, les dispositions les plus diverses des masses magnétiques peuvent créer le même champ (24); ou par contre, une variation de peu de degrés dans leur inclinaison peut être suffisante pour produire une variation en un point de ce champ, passant du positif au négatif. Heureusement en exploration magnétique, cette indétermination disparaît en majeure partie; on choisit parmi plusieurs solutions également possibles, la solution la plus probable, *conforme aux données géologiques* de la région. Mais la méthode d'interprétation finale n'en reste pas moins complexe. En effet, on est alors en présence :

D'une seule donnée : profil ou carte magnétique;

De plusieurs inconnues : susceptibilité magnétique;

Profondeur des masses perturbatrices;

Dimensions de ces masses;

Nature de l'aimantation : induite ou rémanente ?...

Or, même en admettant la susceptibilité magnétique et la nature de l'aimantation déjà connues d'après des mesures faites au laboratoire sur des échantillons de roches recueillis sur le terrain (48, 55, 102, 116, 144), il ne reste pas moins de quatre inconnues à déterminer. La solution analytique exigerait alors également la connaissance de ΔH , de ΔD et de ΔI (quatre données pour quatre inconnues); mais dans ce cas, le problème serait *pratiquement inextricable* vue la complexité des équations analytiques correspondantes.

On commet souvent cette erreur qui consiste de vouloir marquer par une précision mathématique les résultats numériques d'une interprétation. Or, la profondeur ou les dimensions d'une masse perturbatrice, déduites de cette façon, ne sont jamais des grandeurs absolues, mais seulement des *ordres de grandeurs* déterminés entre certaines limites. Ainsi, quand la susceptibilité magnétique d'une structure varie de 1.10^{-2} à 1.10^{-3} , il est évident *a priori* que la détermination de sa position et de ses dimensions ne peut être faite qu'entre certaines limites.

2° Raison de choix de la composante verticale.

La négligence de la mesure des anomalies de la composante horizontale ne me semble pas toujours justifiable en exploration magnétique. En effet, jusqu'à maintenant, très peu d'auteurs l'ont utilisée pour un but pratique; cependant, une carte des ΔH peut être dans certains cas aussi expressive qu'une carte des ΔZ .

D'une façon générale, la composante verticale a l'avantage de donner une image plus claire de la position du corps; ses maxima se placent directement au-dessus de lui et décroissent rapidement vers sa périphérie. Par contre, même si les anomalies ΔH sont petites, le contraste entre différents groupes d'anomalies est souvent plus frappant. Malheureusement, le principal inconvénient de la mesure de ΔH consiste dans la longueur et la délicatesse des opérations sur le terrain.

Personnellement, je préconiserai la mesure de ΔZ dans les contrées situées sous des grandes latitudes, et celle de ΔH lors d'une exploration régionale au voisinage de l'équateur. En effet, dans chacun de ces cas, les anomalies dues à l'induction au sein des formations géologiques seraient prédominantes.

En Alsace, les raisons qui m'ont amené à mesurer seulement ΔZ sont les suivantes :

- a. La profondeur à atteindre était grande;
- b. Les formations géologiques à délimiter étaient suffisamment homogènes;
- c. Les propriétés magnétiques de ces formations résultaient en majeure partie d'une aimantation induite, sauf dans le cas du volcanisme récent.

3° Procédés de calcul des structures causant des anomalies magnétiques.

Les premiers travaux ont eu pour objet la détermination des structures minéralisées (filons, lentilles de fer), en particulier celle de leur profondeur. *E. Ask* dans un mémoire écrit en latin : « Comment trouver les minerais de fer au moyen des aimants » et publié à Upsala en 1723, a décrit un procédé élémentaire et pratique pour déterminer la profondeur d'un minerai au moyen de la boussole aimantée. Plus tard, *de Wrede* vers 1843, *Thalén* (133) et *Tiberg* (134) ont appliqué la méthode analytique à la détermination des gisements de fer de Suède. Grâce à la grande susceptibilité magnétique de ces minerais, les résultats annoncés ont été toujours en parfait accord avec les résultats obtenus sur le terrain. A ce sujet, *Dahlblom* (38); *Smyth* (124), *Carlheim-Gyllensköld* (28) et *Haanel* (50) nous ont donné des travaux qui sont actuellement classiques. En particulier, la délimitation de la grande anomalie régionale de Koursk (Russie) par *Leyst* (84 bis), *Moureaux* (95), *Lasareff* (83) et d'autres a donné lieu à un ensemble de travaux analytiques qui déterminent parfaitement la position et les dimensions de la structure minéralogique causant cette anomalie. *Eötvös* (43) à son tour avait calculé également, d'après des mesures magnétiques, les dimensions de certaines veines de serpentine, situées dans la bordure de la plaine hongroise.

Dans tous ces travaux, le problème posé comportait toujours deux inconnues et consistait simplement à déterminer la profondeur de chacune des deux extrémités de la masse magnétique. On assimilait la masse en question à un aimant dont on cherchait l'emplacement de ses deux pôles ou plus exactement de ses deux « zones polaires ». Ainsi, en admettant avec ces auteurs que la distance qui sépare ces deux pôles est de $5/6^{\text{es}}$ ou de $9/10^{\text{es}}$ de la longueur totale de la masse envisagée, il était facile d'en conclure un ordre de grandeur quant aux dimensions et de la position de cette masse. Les méthodes de calcul de Thalén, de Tiberg et de Dahlblom sont basées sur ces considérations. Ultérieurement, *Nippoldt* (1) et *Wagner* (2) ont précisé d'avantage ce mode de cal-

(1) A. NIPPOLDT : *Einführung in die Geophysik* 2^e B., p. 95 et suite ou *Verwertung magnetischer zur Mutung*. Berlin 1930. Chez Springer.

(2) A. WAGNER : *Erdmagnetische Messungen zwecks Aufsuchung isolierter schwach magnetische Erzlager*. *Zeit. f. Ang. Geophysik*, 1924.

cul en élaborant la méthode dite de la « série des pôles », mais ce procédé de calcul est très difficile à appliquer dans une exploration magnétique.

Cela étant, soit :

ΔH : la composante horizontale du champ magnétique dû au gisement ;

ΔZ : la composante verticale du champ magnétique dû au gisement ;

$H + \Delta H$: la composante horizontale du champ magnétique total ;

z_0 : la profondeur du centre de la masse envisagée ;

$2l$: la distance qui sépare les deux pôles magnétiques de cette masse ;

$t = z_0 - l$: la profondeur du pôle supérieur de la masse ;

$\Delta Z_{\max.}$: la valeur maximum de ΔZ obtenue lors des mesures ;

$\Delta H_{\max.}$: la valeur maximum de ΔH obtenue lors des mesures ;

b : la distance entre une station de mesure P et celle pour laquelle $\Delta H = \Delta H_{\max.}$;

a : la distance entre une station de mesure P et celle pour laquelle $\Delta Z = \Delta Z_{\max.}$

1° Règle pratique de Thalén pour déterminer z_0 .

(en se servant d'une carte de ΔH).

A cet effet, prendre au-dessus du gisement le point d'intersection P entre le méridien magnétique local, passant par la station pour laquelle $\Delta H_{\max.}$, et l'isanomale zéro de ΔH . Si b est la distance entre P et la station correspondant à $\Delta H_{\max.}$, d'après Thalén, on a approximativement

$$z_0 = 2b.$$

J'ai constaté sur des cas particuliers que j'ai traités que la méthode de Thalén conduit à des résultats corrects seulement quand les corps perturbateurs sont profonds et

$$\frac{l^2}{z_0^3 + b^3}$$

est suffisamment petit.

2° Règle pratique de Tiberg pour déterminer z_0 .
(en se servant d'une carte de ΔZ .)

ΔZ étant l'anomalie en une station P, d'après Tiberg, on a

$$t = a \cotg \gamma \quad \text{avec} \quad \cos^3 \gamma = \frac{\Delta Z}{\Delta Z_{\max}}$$

D'autre part, en posant

$$\tg \varphi = \sqrt{2 + \frac{3}{2} \frac{\Delta Z}{\Delta H} - \frac{3}{2} \frac{\Delta Z}{\Delta H}},$$

Tiberg déduit la valeur numérique de z_0 par l'expression

$$z_0 = a \cotg \varphi.$$

J'ai constaté que cette formule est assez difficile à appliquer même dans des cas simples.

Je résume dans le tableau XIX les formules pratiques proposées par différents auteurs donnant z_0 du centre d'une masse magnétique en fonction de la distance horizontale d qui sépare une station de mesure déterminée du centre du contour horizontal de la masse.

TABLEAU XIX.

ON OBTIENT :	QUAND ON A ENTRE CES DEUX POINTS :	AUTEURS.
$z_0 = d$	$\Delta Z = \frac{\Delta Z_{\max}}{3}$	HAASEL 1904.
$z_0 = \frac{4}{3} d$	$\Delta Z = \frac{\Delta Z_{\max}}{2}$	TIBERG 1899.
$z_0 = 0,7 d$	$\Delta Z = 0$	THALÉN 1879.
$z_0 = d$	$\Delta Z = \Delta H$	NIPPOLDT 1930.
$z_0 = \frac{4}{3} e$	où e est la distance horizontale qui sépare les stations des mesures relatives à $\Delta H_{\max}$ et à $\Delta H_{\min}$.	NIPPOLDT 1930.
$z_0 = 3 d_v$	d_v est la distance horizontale qui sépare les points (suivant NS ou suivant EW) relatifs aux valeurs de $\frac{1}{4}$ et de $\frac{1}{10}$ de la valeur centrale extrême de ΔZ ($\Delta Z_{\max}$ ou $\Delta Z_{\min}$).	KOENIGSBERGER 1928.

En appliquant les formules ci-dessus à des cas simples, je constate que :

1° *Ellipsoïde aplati.*

Les règles de Haanel et de Tiberg ne sont applicables que si je les modifie légèrement ; ainsi

$$\text{pour } \Delta Z = \frac{\Delta Z_{\max}}{3} \text{ j'obtiens } z_0 = \frac{d_n + d_s}{2}, \text{ (Haanel modifiée),}$$

$$\text{et non } z_0 = \frac{d}{2};$$

$$\text{pour } \Delta Z = \frac{\Delta Z_{\max}}{2} \text{ j'obtiens } z_0 = \frac{4}{6} (d_n + d_s). \text{ (Tiberg modifiée),}$$

$$\text{et non } z_0 = \frac{4}{3} d.$$

Par contre, la règle de Koenigsberger

$$z_0 = 3 (d_v)_n.$$

reste satisfaisante.

Quant à la règle de Thalén, il m'est difficile de l'appliquer à l'ellipsoïde aplati, car l'emplacement de $\Delta Z = 0$ sur le profil magnétique envisagé, est peu certain à cause de l'étalement excessif de ce profil pour les faibles valeurs de ΔZ .

2° *Ellipsoïde allongé.*

Je n'ai pas obtenu des résultats satisfaisants par l'application des règles de Haanel et de Tiberg. Par contre, celles de Thalén et de Koenigsberger m'ont donné des résultats suffisamment exacts.

3° *Sphère.*

Toutes les règles donnent des valeurs approchées et pratiquement exactes ; ainsi je trouve que

$$\text{Pour } \Delta Z = \frac{\Delta Z_{\max}}{3} \text{ j'obtiens } z_0 = \nu d_n \text{ [Haanel]};$$

$$\text{Pour } \Delta Z = \frac{\Delta Z_{\max}}{2} \text{ j'obtiens } z_0 = \nu \frac{4}{3} d_n \text{ [Tiberg]};$$

$$\text{Pour } \Delta Z = 0 \text{ j'obtiens } z_0 = \nu \frac{0,7}{3} (d_n + d_s) \text{ [Thalén modifiée]};$$

$$z_0 = 3 (d_v)_n.$$

J'utilise les indices n et s pour indiquer les valeurs numériques de d de part et d'autre de la station (vers le Nord et vers le Sud sur le profil magnétique envisagé) correspondant à la valeur de $\Delta Z_{\max}$.

4° *Cylindre elliptique.*

J'ai obtenu des résultats satisfaisants au moyen de toutes les règles. Ainsi

$$z_0 = z_{d_n} \quad \text{pour } \Delta Z = \frac{\Delta Z_{\max}}{3};$$

$$z_0 = \frac{4}{3} d_n \quad \text{pour } \Delta Z = \frac{\Delta Z_{\max}}{2};$$

$$z_0 = \frac{0,7}{3} (d_n + d_s) \quad \text{pour } \Delta Z = 0;$$

$$z_0 = 3 (d_v)_n.$$

5° *Cylindre circulaire.*

J'ai constaté que la règle de Haanel et la règle de Tiberg sont en défaut dans le cas du cylindre circulaire. Par contre, j'ai trouvé des valeurs numériques satisfaisantes en appliquant les règles de Thalén et de Koenigsberger, c'est-à-dire

$$z_0 = 0,7 \cdot d_n \quad \text{pour } \Delta Z = 0 \text{ (Thalén),}$$

$$\text{et } z_0 = 3 (d_v)_n \text{ (Koenigsberger).}$$

Dans ces conditions, j'arrive à la conclusion suivante :

a. Appliquer la règle de Haanel *modifiée*;

La règle de Tiberg *modifiée*;

Et la règle de Koenigsberger pour les *structures étalées*.

b. Envisager une *valeur moyenne* déduite de toutes les règles pour les *structures à courbure moyenne*.

c. Appliquer la règle de Thalén *modifiée*, et la règle de Koenigsberger pour les *structures allongées*.

D'ailleurs, le choix du caractère de la courbure d'une surface de discontinuité (étalée, moyenne ou allongée) est aisément dicté par l'allure générale des profils magnétiques nord-sud. En effet, j'ai toujours constaté que les masses perturbatrices à courbure étalée, moyenne ou allongée, donnent naissance à des profils de ΔZ également étalé, comportant une courbure moyenne ou allongée (Exemples simples : l'ellipsoïde de révolution aplati, la sphère et l'ellipsoïde de révolution allongé). De ce fait même, dans chaque cas particulier, dicté par des considérations tecto-

niques, il est facile de faire un choix judicieux de la méthode à appliquer pour obtenir z_0 .

Je déduis de toutes mes applications numériques, les règles pratiques suivantes :

1° Si les isanomales sont *serrées* et *irrégulières*, les masses perturbatrices sont très magnétiques, disséminées et de faible profondeur;

2° Si les isanomales sont *serrées* mais *régulières*, les masses perturbatrices sont très magnétiques, continues et de faible profondeur;

3° Si les isanomales sont *espacées* et *irrégulières*, la cause des anomalies est discontinue et profonde;

4° Si les isanomales sont *espacées* mais *régulières*, la cause perturbatrice est toujours profonde, mais elle est due à une structure continue. À $\Delta Z_{\max}$ donnée, une zone d'anomalies étalées correspond à une cause perturbatrice plus étendue.

Pour interpréter les différentes parties de ma carte des isanomales magnétiques, je porte mon attention, le long d'un profil nord-sud, sur *l'emplacement*.

a. De $\Delta Z_{\max}$ pour localiser la projection approchée du centre de la structure perturbatrice sur le terrain;

b. De $(\Delta Z_{\min.})_n$ et de $(\Delta Z_{\min.})_s$ pour déterminer les limites d'extension de cette structure vers le nord et vers le sud;

c. De $\Delta Z = 0$ pour déterminer la profondeur approximative du centre perturbateur;

d. Sur la valeur de $(\Delta Z_{\min.})_n - (\Delta Z_{\min.})_s$ pour en déduire l'ordre de grandeur de κ .

TROISIÈME PARTIE.

CHAPITRE VII.

ÉTUDE MAGNÉTIQUE RÉGIONALE D'UN BASSIN DE REMPLISSAGE.

LA PLAINE D'ALSACE.

La plaine d'Alsace est constituée par un effondrement profond entre les massifs surélevés des Vosges et de la Forêt Noire. Ce fossé est comblé par des dépôts tertiaires d'une épaisseur considérable; il est couvert par des alluvions du Quaternaire dont l'épaisseur est variable d'une région à l'autre. Ainsi, c'est le Quaternaire presque seul (alluvions dans les parties basses; lœss argileux sur les terrasses et les bas-plateaux) qui réagit sur la morphologie et sur la nature du sol (22).

Stratigraphie.

Les terrains qui remplissent ce fossé d'effondrement reconnus par la géologie de surface et les données des sondages sont :

Alluvions quaternaires;

Sables pliocènes;

Marnes oligocènes;

Terrains secondaires.

L'épaisseur des alluvions est variable et n'est en aucun cas négligeable (85 mètres à Ostheim, 123 mètres à Baldenheim, 78 mètres à Strasbourg); elle atteint par endroits jusqu'à 250 mètres (243 mètres à Heiteren). Les alluvions disparaissent cependant dans la région pétrolifère de Pechelbronn où on ne rencontre que des sables pliocènes de quelques mètres d'épaisseur au maximum.

On connaît mal la stratigraphie de la région médiane de la plaine d'Alsace, entre Colmar et Strasbourg. Il y a cependant deux régions bien connues par de nombreux sondages : la région pétrolifère de Pechelbronn au nord de la plaine (46), et la région potassique de Mulhouse au sud (138). Entre ces deux régions, l'Oligocène est affecté par une suite de failles de rejet variable. Voici la série complète des différentes formations :

Alluvions de Pliocène : de 10 à 250 mètres.

Oligocène . . .	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Chattien..} \\ \text{Stampien.} \\ \text{Sanoiseien} \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pétrole au nord} \\ \text{Potasse au sud} \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{de 300 à 500 m.} \\ \text{de 300 à 500 m.} \\ \text{de 700 à 1000 m.} \end{array} \right\}$
-----------------	--	---	---

Jurassique et Trias.

Au total, on admet (65) pour l'Oligocène de cette plaine, une épaisseur totale de 1.700 à 2.000 mètres d'après les données des sondages.

Tectonique.

Sillonné par un réseau complexe de failles, la *grande faille rhénane* sépare la zone sous-vosgienne de la plaine sur toute sa longueur. Au sud de la région de Colmar, les sondages exécutés en vue de l'extension du bassin potassique ont mis en évidence une zone très effondrée. Cette zone se termine à la hauteur d'Ensisheim, car entre Ensisheim et Mulhouse où l'affaiblissement est moindre, il se forme un plateau surélevé de 700 mètres environ par rapport à la zone précédente et où s'étend la zone actuelle d'exploitation potassique.

En dehors de ces caractères purement tectoniques, la région de Colmar est affectée par la surélévation des massifs de sel qui vient s'injecter sous pression à travers les terrains de couverture. C'est ainsi que nous constatons par sondages la présence du dôme allongé de Meyenheim, invisible à la surface du sol, et le massif de sel de Hettenslag qui a une forme circulaire et a soulevé de 2 m. 50 environ les alluvions de la surface (44).

A la hauteur de Colmar, sur la rive orientale du Rhin, la plaine d'Alsace est dominée par un massif volcanique du tertiaire, le Kaiserstuhl. On trouve également d'autres petits affleurements basaltiques isolés du même âge sur le versant est des Vosges, non loin de Riquewihr et d'Orbey.

Entre les Vosges surélevées et le fossé rhénan effondré, s'étend

par endroits, une zone de largeur variable, mais généralement faible, où l'on voit apparaître des terrains extrêmement faillés appartenant au Permien, au Trias, au Jurassique et à l'Oligocène inférieur; c'est la zone des collines sous-vosgiennes.

A l'ouest de cette zone faillée apparaissent les Vosges formées de terrains primaires et cristallins; quant à l'est, on entre dans le fossé rhénan proprement dit.

Morphologie (14).

Le dépôt quarternaire le plus répandu, que l'on trouve aussi bien couvrant les plateaux que plaqué sur les pentes, est le limon ou le lœss. C'est ce dépôt argileux qui dissimule le plus souvent les terrains oligocènes de la plaine. Les ramifications du Rhin et de l'Ill serpentent dans les bas marécages, des alluvions récentes formant ainsi le Ried dans la partie médiane.

Dans son ensemble, la plaine d'Alsace est relativement plate; elle est inclinée du sud au nord avec la pente moyenne du cours du Rhin. Quoique à la latitude de Haguenau, vers le nord, la région est relativement ondulée, les points culminants du relief ne dépassent guère 250 mètres d'altitude contre 187 mètres à Strasbourg.

Interprétation géologique de détail (Planche II).

A. — Région qui s'étend entre 49° et 48°40' de latitudes.

La carte des isanomales magnétiques révèle trois zones distinctes :

1° La zone I qui délimite entièrement le champ pétrolifère de Pechelbronn; c'est une zone d'anomalies négatives.

2° La zone II, vers le sud-ouest de la précédente, qui présente une zone d'anomalies positives. Elle est séparée de la zone I par l'isanomale zéro.

3° La zone III qui s'étend à l'ouest de la zone I; elle est délimitée à l'est par l'isanomale zéro. C'est une zone de fortes anomalies positives (Région de Sarrebourg-Saverne).

1° ZONE PÉTROLIFÈRE DE PECHELBRONN.

On sait que la théorie anticlinale d'usage pour la plupart des gisements pétrolifères n'est pas applicable à celui de Pechelbronn qui est en réalité un gisement faillé. La carte magnétique n'a pas en effet l'aspect d'une carte correspondant à une structure anticlinale.

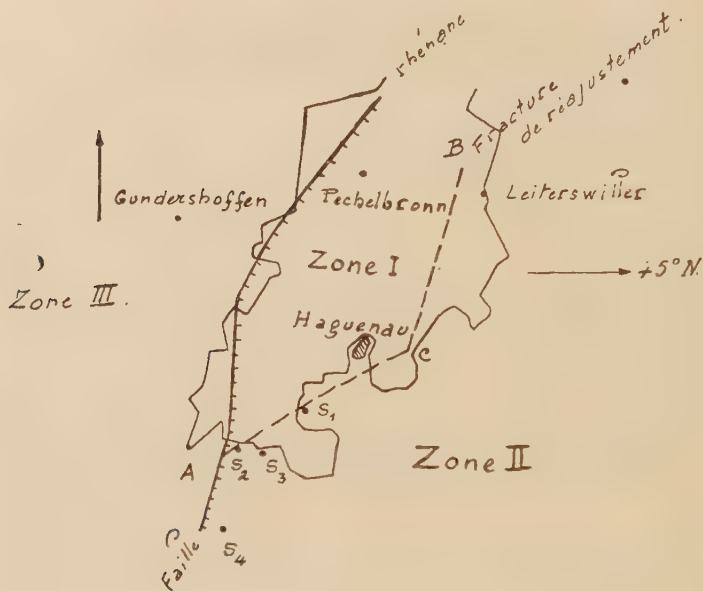


Fig. 13.

En suivant le tracé des courbes zéro, je constate que la région pétrolifère de Pechelbronn se trouve entre les deux zones distinctes II et III, qui sont deux zones d'anomalies positives. La zone actuellement en exploitation correspond précisément à la zone I; on évite en général l'exécution des sondages dans les zones II et III. Comme la plupart (90 p. 100) des champs pétrolifères du monde se trouve dans des zones d'anomalies négatives, on voit que la zone pétrolifère de Pechelbronn ne s'échappe pas à cette règle générale.

Pour expliquer ce fait, certains auteurs, comme Van Weelden (140), croient que l'effet magnétique de l'ensemble du matériel d'exploitation (tubages, chevalements, mines, —78) en est la cause. Mais je crois qu'il serait plus logique de chercher la cause de ce déficit magnétique dans leur *tectonique profonde*. En effet, des mesures faites par W. Barret sur un même champ pétrolifère (Slige Field, T. 17 N., R. 12 W; Bossier Parish, Louisiane) successivement en 1928 (nombre de sondages : 17) et en 1931 (nombre de sondages : 47) n'ont révélé que de faibles différences (erreurs instrumentales) variant de 6 à 14 gammas. De même, le nouveau réseau magnétique du champ pétrolifère d'Oklahoma City n'a pas révélé une grande discordance avec celui exécuté auparavant, avant même le développement industriel de ce champ. D'autre part, si la considération de Van Weelden était exacte, pourquoi aurait-on des champs pétrolifères en activité, comme Robertson (Oklahoma), Amarillo Mountains (Panhandle, Texas) se présentant avec un *excès* de magnétisme? J'admetts donc plus rationnel de chercher la cause de ces anomalies dans la manière d'être de la structure profonde des champs pétrolifères. D'ailleurs, des mesures que j'ai faites à Pechelbronn m'ont bien montré le caractère local des anomalies produites par le matériel d'exploitation.

En effet, à l'emplacement d'un tubage abandonné, de 25 centimètres de diamètre et d'une cinquantaine de mètres de long, j'ai effectué un profil N-S pour mesurer l'anomalie magnétique produite par un tel tubage. J'ai choisi la station-base à 110 mètres au sud de la tête de ce tubage et j'ai déterminé ΔZ le long de la branche sud de ce profil. J'ai gardé l'instrument à une distance constante de 1 mètre à partir de la surface du sol, et ceci surtout aux stations immédiatement voisines de la tête du tubage.

La constante de l'échelle K étant ramenée à 107,3 gammas pour un déplacement d'une division de l'échelle, j'ai obtenu les valeurs suivantes :

Distance : 0, 1, 2, 3.5, 6.5, 10, 15, 25, 35, 50 mètres.

ΔZ : 3240, 1967, 682, 186, 44, 14, 0, —17, —8, 0 gammas. qui me montrent contrairement à l'hypothèse émise par Van Weelden que :

1° La perturbation magnétique apportée dans un champ pétrolifère par le matériel d'exploitation présente surtout un caractère localisé;

2° L'effet maximum se produit à sa proximité immédiate;

3° Pratiquement, il disparaît à une distance radiale de 75 à 100 mètres au maximum.

Dans la zone limitée par les stations n°s 467 et 476 d'une part et n°s 101, 106, 104 et 123 d'autre part, la disposition et le parallélisme des isanomales suivant la direction N-S magnétique indiquent une structure à deux dimensions. Ainsi, si l'on envisage le profil E-W magnétique de ΔZ passant par Altorf, on y trouve une similitude parfaite avec les profils théoriques de ΔZ relatifs aux fractures dirigées suivant le N-S magnétique (courbe 7 et 8). J'obtiens ainsi son emplacement sur le profil envisagé par l'expression

$$\frac{(\Delta Z_{\min})_E + (\Delta Z_{\max})_W}{2};$$

c'est-à-dire, sensiblement situé à 1 kilomètre à l'ouest de l'isanomale zéro.

Le compartiment supérieur, suivant le même profil, se place alors de 3,5 à 4 kilomètres à partir de la surface du sol (fig. 14).

Quant au rejet de la fracture, inclinée légèrement vers l'est ($\beta \leq 20^\circ$) est égal, d'après la relation

$$\frac{\Delta Z}{2xZ} = \alpha_2 - \alpha_1$$

environ de 4 à 4,5 kilomètres, en adoptant

$$\Delta Z_{\max} = 300 \gamma, \quad \kappa = 3000 \cdot 10^{-6}, \quad Z = 40000 \gamma \quad \text{et} \quad \alpha_1 = 45^\circ.$$

d'après les profils théoriques que j'ai tracés antérieurement.

Or, c'est une valeur *supérieure* à celle que l'on adopte en général comme rejet de la grande faille rhénane. En effet, si l'on cherche à évaluer la différence d'altitude entre un horizon déterminé du grès vosgien sur la crête de Hochwald (nord-est de Pechelbronn) et la profondeur à laquelle on retrouverait ce même horizon à Leiterswiller ou à Niederrödern (à l'ouest de Pechelbronn), on arrive au chiffre de 2.400 mètres ou de 2.800 mètres; soit sensiblement de 3 kilomètres. Dans ces conditions, *la faille rhénane n'affecte pas le substratum basique* ($\kappa = 3000 \cdot 10^{-6}$) de la croûte dans cette zone, puisque son rejet reste inférieur à celui de la grande fracture révélée par la disposition de mes isanomales

magnétiques. Ce fait était d'ailleurs à prévoir (6) puisque la faille rhénane n'apporte aucune perturbation dans la continuité des mêmes isanomales. La cause de ces anomalies est donc bien à rechercher dans une zone plus profonde.

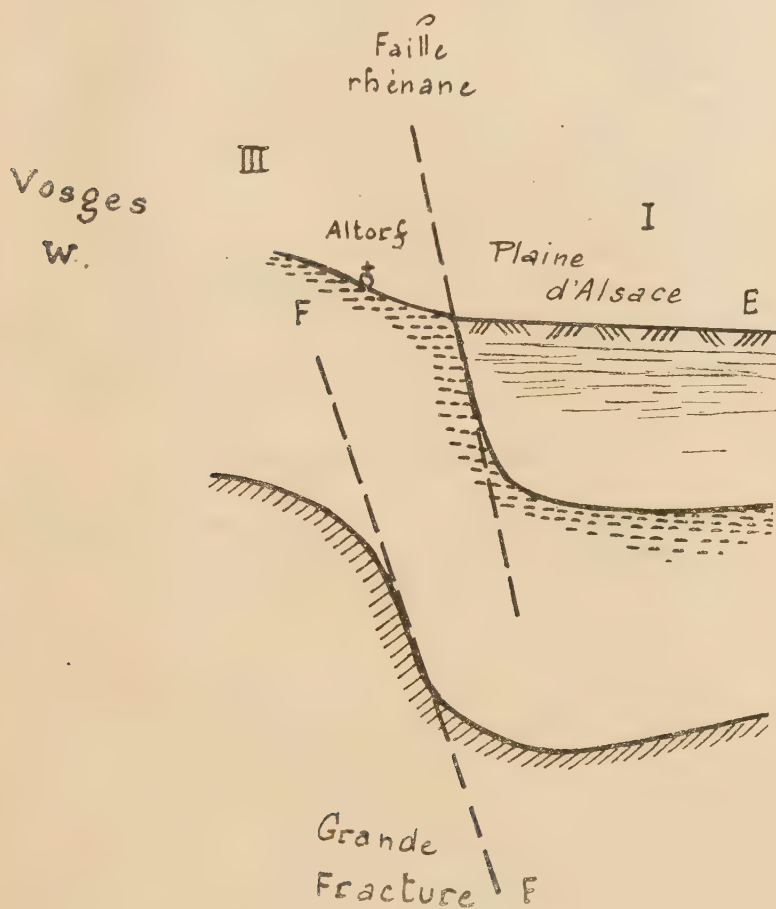


Fig. 14.

B. — Région s'étendant entre $48^{\circ}40'$ et $48^{\circ}10'$ de latitudes.

La carte géologique détaillée de l'Alsace et du pays de Bade
(C. Regelmann : publication du Service géologique de Wurtten-

berg, 1913) indique l'emplacement dans la Forêt Noire (Ulm-Kappetrodeck-Forbach) du prolongement du seuil morvano-vosgien s'appuyant du côté des Vosges à la hauteur de Sainte-Marie-aux-Mines (Luxeuil, Gérardmer, Sainte-Marie, Liepvre). Aucune indication géologique ne nous est fournie jusqu'aujourd'hui quant à sa prolongation à travers le fossé rhénan, liant cette zone des Vosges à la zone correspondante de la Forêt Noire. Ma carte des isanomales de ΔZ (planche II) et celle des profils magnétiques nord-sud (planche III) comblent cette importante lacune.

En effet, la continuité parfaite des isanomales et des profils magnétiques dans ces deux planches, et la zone de la forte anomalie positive limitée par eux le long d'une ligne qui passe légèrement au nord de Dambach, par Benfeld-Erstein-Plobsheim, indiquent nettement l'emplacement d'un pli de fonds dans la direction S.W.-N.E., reliant à travers le fossé rhénan le seuil morvano-vosgien avec son prolongement dans la Forêt Noire.

Interprétation tectonique.

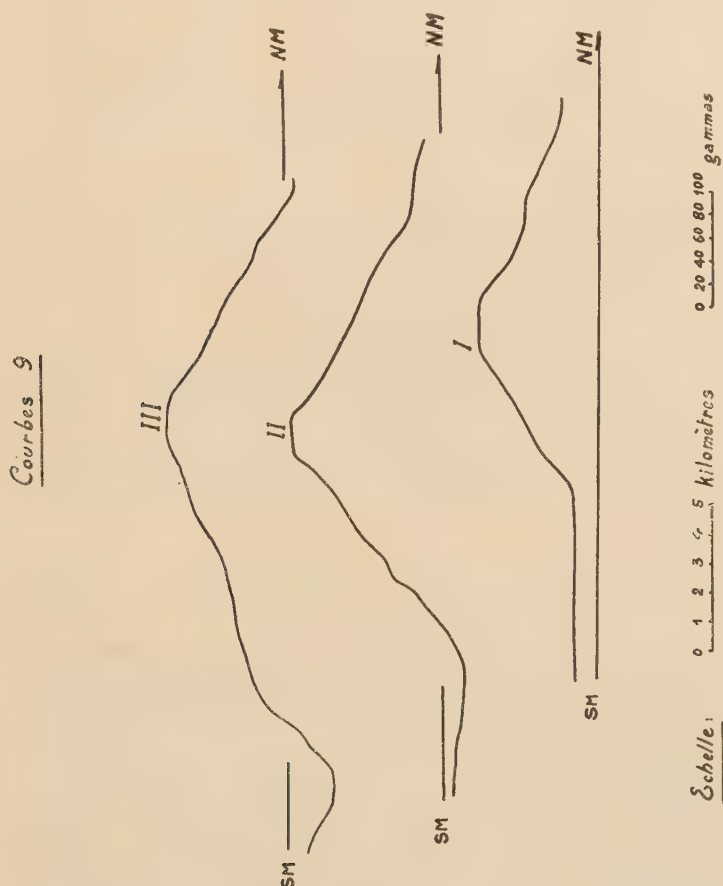
1° Le parallélisme parfait des profils nord-sud (par ex. I, II, III...) montre que la structure envisagée comporte des dimensions longitudinales pratiquement constantes.



2° Leur comparaison avec les profils théoriques indique une structure à section elliptique aplatie suivant la direction N.-S.

3° Elle est légèrement inclinée, ou encore, plus aplatie et plus étendue vers les Vosges.

4° ΔZ_{max} passant par les stations n°s 221, 223, 183, 182, 264, 263, 260, 247, 246, 491... qui sont pratiquement alignées, l'emplacement de la projection de l'axe du pli, parallèle à cet alignement, se trouve au sud de cet axe à une distance égale à un quart environ de sa profondeur.



5° D'après les profils I, II et III (courbes 9 et pl. III), la profondeur z_0 du centre perturbateur se trouve de 5 à 6 kilomètres à partir de la surface du sol et suivant la projection de l'axe du pli.

6° Ces mêmes profils magnétiques me donnent

$$(\Delta Z_{\min})_{n/s} = (\Delta Z_{\min})_n - (\Delta Z_{\min})_s = 30 \text{ gammas.}$$

Or, le profil théorique correspondant (cylindre elliptique) conduit à la valeur de

$$(\Delta Z_{\min})_{n/n} = 0,8 \pi \kappa \cdot (0,12512)$$

en unités CGS, ou encore

$$(\Delta Z_{\min})_{n/s} = 0,8 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 \cdot 0,12512 \kappa \text{ en gammas,}$$

de sorte que la valeur approchée de la susceptibilité magnétique du pli de fonds envisagé serait .

$$\kappa = \frac{30}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 3,1416 \cdot 0,12512} = \frac{1}{1,048} \cdot 10^{-3}$$

soit

$$\kappa = 1 \cdot 10^{-3} = 1000 \cdot 10^{-6}.$$

Or, c'est une valeur moyenne qui se place au milieu de toute la gamme de susceptibilités magnétiques des roches (acides et basiques) que j'ai trouvées au laboratoire (p. 24-25).

7° Enfin, l'extension de la section nord-sud du pli est égale à 8 kilomètres environ d'après le profil II. Quant à son aplatissement, il varie de un demi à un tiers d'après le tableau VII bis.

C. — Région s'étendant entre 48°10' et 47°45' de latitudes.

La zone qui s'étend au sud de Colmar jusqu'à la hauteur d'Ensisheim a été longtemps un centre de recherche pour la potasse. L'emplacement des sondages a été souvent dicté par l'application de différents procédés de prospection géophysique (électrique, gravimétrique et magnétique). Ma carte des isomales de ΔZ fait apparaître, indépendamment de ces recherches d'ordre industriel, quelques particularités de la géologie de cette zone.

1° La limite sud de la « zone du bas-fonds » où le sel d'après les données des sondages est rejeté au-delà de 1.100 mètres de profondeur (contre 500 plus au sud, dans le bassin potassique) est marquée par l'isomale ± 50 . Il est probable que cette limite correspond, sur la prolongation de la *ligne de Klemmbach*, à une faille importante dans le pays de Bade.

Ma carte des isanomales indique d'ailleurs une tectonique relativement simple pour cette partie de la plaine d'Alsace, et où l'intrusion de forme circulaire du massif de sel de Hettenschlag se révèle clairement par une région d'anomalie de -20 à -40γ .

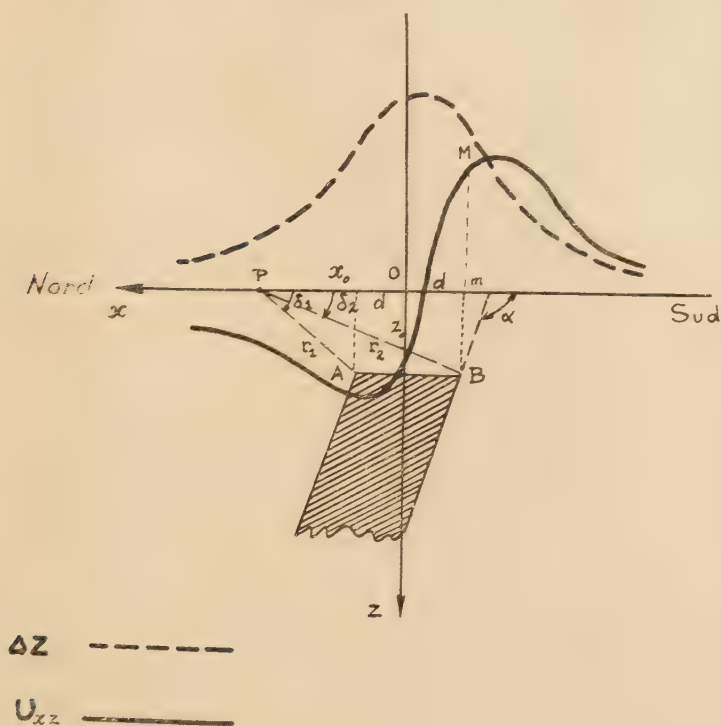


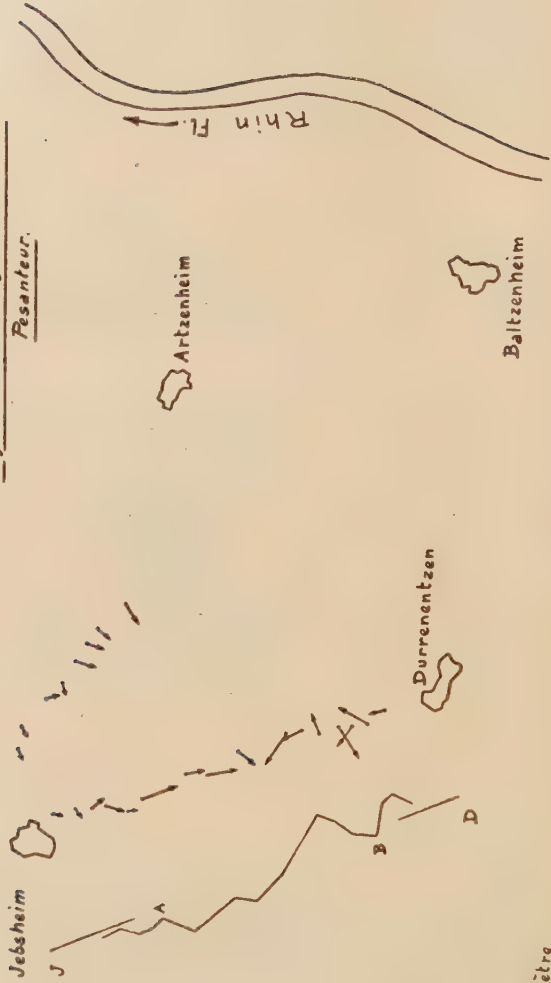
Fig. 15.

2° Dans la zone de Artzenheim-Durrentzen et Jelsheim, il y a une coïncidence concordante entre les données magnétiques (planche II) et les données gravimétriques (courbe 10). En effet vu la proximité du massif de Kaiserstuhl, il est très probable que l'intrusion d'une sorte de gros filon ou de dyke basaltique (dense et magnétique) à travers les terrains de couverture en soit la cause.

Afin de simplifier la solution analytique de ce problème, je peux admettre approximativement que $\alpha = \frac{\pi}{2}$ (fig. 15). En effet



Profil des vecteurs - gradients de la
Pesanteur.



Courbe 10

le profil magnétique de ΔZ et le profil des gradients U_{xz} sont, presque symétriques dans le cas présent; le premier par rapport à l'axe des z , et le second par rapport au centre O. Dans ces conditions, j'ai

$$(I) \left\{ \begin{array}{l} \text{Profil} \\ \text{des vecteurs} \\ \text{gradients.} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} U_{xz} = \int_v \frac{2G\sigma}{r^2} \sin 2\delta \cdot r dr \cdot d\delta \\ = G\sigma \left[2 \sin^2 \alpha \cdot \text{Log} \frac{r_2}{r_1} - (\delta_2 - \delta_1) \sin 2\alpha \right]; \\ \text{ou avec } \alpha = \frac{\pi}{2} \end{array} \right.$$

$$U_{xz} = 2 G\sigma \cdot \text{Log} \frac{r_2}{r_1}.$$

$$(II) \left\{ \begin{array}{l} \text{Profil} \\ \text{des } \Delta Z. \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \Delta Z = -\frac{\partial \Omega}{\partial z} = \kappa Z \cdot \frac{ab}{z_o^2} \text{ au point } o; \\ \text{d'après } d\Omega = -AX_o - BY_o - CZ_o \text{ où } X_o = Y_o = o. \\ z_o = \frac{ab \cdot dz}{z^2} \quad \text{et} \quad \Omega = -Zab \int_{z_o}^{\infty} \frac{dz}{z_o^2} \end{array} \right.$$

z_o étant la profondeur de la surface AB.

J'admets d'autre part que $a = b = 2 d$ comme dimensions de cette surface (section). J'obtiens alors

$$(II) \quad \Delta Z = 4\kappa Z \cdot \frac{d}{z_o^2}$$

Dans le cas particulier qui m'intéresse, on sait (1) que $(U_{xz})_{min}$ et $(U_{xz})_{max}$ se trouvent au-dessus de A et de B. Or, la courbe 10 me donne déjà $d = 1$ kilomètre environ et

$$(U_{xz})_{max} = 32E = 32 \cdot 10^{-9} \text{ CGS.}$$

Comme

$$G = 66,7 \cdot 10^{-9}$$

$\sigma = 0,6$ (différence de densités entre le basalte : 3 et les formations secondaires : 2,4).

J'en déduis pour le point m (fig. 15) :

$$\text{Log} \frac{r_2}{r_1} = 0,24 \quad \text{d'où} \quad \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{(x_o + d)^2 + z_o^2}{(x_o - d)^2 + z_o^2}} = 1,27.$$

(1) MEKEL, J. A. A. : Theorie van het tektonisch-gravimetrisch Onderzoek. Chez Gedrukt bij Technische Boekhandel en Drukkerij. J. Waltman, Delft. 1928.

D'autre part, comme

$$x_0 = \lambda d = 1 \text{ km.}$$

J'ai

$$z_0 = \sqrt{5} = 2,8 \text{ kilomètres.} \quad (\text{I})$$

Si j'applique maintenant la formule II avec

$$\Delta Z = 60 \text{ } \gamma = 60 \cdot 10^{-5} \text{ CGS, au point O;}$$

$$\kappa = 3000 \cdot 10^{-6}, \quad \text{la valeur moyenne de la suscepti-}$$

bilité magnétique des roches
basiques;

$$Z = 0,4 \text{ CGS, la valeur moyenne de } Z \text{ à la hau-}$$

teur de Colmar;

J'en déduis :

$$z_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot 3000 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4}{60 \cdot 10^{-5}}} = \sqrt{8} = 2,8 \text{ kilomètres.} \quad (\text{II})$$

Je constate ainsi une concordance *remarquable* entre les résultats gravimétriques et magnétiques. De même le choix de $\kappa = 3000 \cdot 10^{-6}$ comme valeur moyenne (ordre de grandeur) de la susceptibilité magnétique des formations basiques (66,68) me paraît ainsi suffisamment exact.

Ainsi, autour du massif volcanique de Kaiserstuhl, nous trouvons une zone circulaire d'anomalies magnétiques caractérisant la présence des venues basaltiques sous la couverture des sédiments du fossé rhénan.

CHAPITRE VIII.

ÉTUDE MAGNÉTIQUE RÉGIONALE D'UNE CHAÎNE DE MONTAGNES.

LES VOSGES.

Géologie sommaire.

On distingue deux grandes zones naturelles dans la chaîne des Vosges : les *Vosges gréseuses* au nord et les *Vosges gneisso-granitiques* au sud. Dans l'ensemble, c'est un socle hercynien plissé

s'enfonçant vers le nord sous des terrains de couverture et abrasé au sud pour former les *Vosges hercyniennes* proprement dites.

Les Vosges s'abaissent graduellement vers l'ouest. Par contre, à l'est, elles sont séparées de la plaine d'Alsace par une chute brusque, avec l'intercallation d'une zone faillée dite la zone *sous-vosgienne*. La largeur de cette zone est variable. La plus vaste est le champ de fractures de Saverne qui se termine en biseau à la hauteur de Dambach. Les zones de Ribeauvillé et de Rouffach sont d'une extension plus modeste.

Les Vosges gréseuses sont des plateaux formés de grès vosgien reposant sur des assises irrégulières du Permien. Leur limite méridionale se trouve entre Raon-l'Étape et Urmatt, d'où commence l'extension des Vosges hercyniennes vers le sud.

Les Vosges hercyniennes sont formées par des roches dures comme les granites, les gneiss et les terrains primaires. Elles comportent des sommets plus élevés que les Vosges gréseuses. Ces sommets, de forme des plateaux peu bombés, sont les restes des sédiments de Permien et de Trias, qui, déposés sur les masses de gneiss et de granit ont été en général enlevés par l'érosion. Pendant toute cette période d'érosion, le socle hercynien formant la partie fondamentale des Vosges a été peu atteint.

Tectonique sommaire.

1° *Tectonique hercynienne*. — On trouve dans les Vosges des lignes directrices de plissement. Ainsi dans la vallée de la Bruche, la direction des couches est nettement vers le N.E.-S.W. Les schistes indiquent une direction presque E.-W. dans la zone de Villé. Par contre, dans la zone d'Urbeis, les gneiss montrent une direction constante S.-N. (Lubine, Gérardmer). Cependant, la direction N. N. E. et S. S. W. règne nettement dans toutes les Vosges centrales.

2° *Tectonique alpine*. — Aux temps tertiaires, de nouveaux accidents sont venus s'ajouter sur ceux de la tectonique hercynienne et se coordonnent dans l'ensemble de la tectonique alpine. Les mouvements alpins ont fait saillir ainsi le socle hercynien. Le bombement a été accompagné par des effondrements, dont le plus important a amené la formation du fossé rhénan et celle des zones faillées (zone sous-vosgienne, failles des terrains anciens

des Vosges...). Mais les failles dans les Vosges n'affectent que les terrains de couverture (le grès bigarré et le Permien), car l'épaisseur des terrains cristallins et primaires est telle que seules les grandes fractures pourraient éventuellement affecter leur ordonnance. Le fait est nettement démontré par ma carte des isanomales des Vosges.

Interprétation géologique (7).

1° La carte magnétique des Vosges étant rapportée à la station-base de Sélestat, les isanomales relatives de la plaine déterminées antérieurement se raccordent parfaitement avec celles des Vosges.

2° Ces isanomales gardent la même allure de continuité dans ces deux parties de l'Alsace. En particulier, la direction constante S. S. W.-N. N. E. que j'ai attribuée aux plis hercyniens de la plaine, trouve effectivement son prolongement à travers les Vosges. D'autre part, à la bordure de la plaine, la grande faille rhénane n'affecte pas la continuité des isanomales magnétiques. Ce fait montre que l'effondrement de la plaine d'Alsace (évalué à 4.000 mètres), entre la crête cristalline des Vosges et le fond du bassin oligocène, n'intervient non plus ici dans la distribution des isanomales magnétiques régionales. La cause de ces anomalies réside donc bien, comme je l'ai dit, *dans une zone plus profonde.*

3° La carte des isanomales révèle une distinction *nette* entre :

a. Les Vosges gréseuses au nord (zone à anomalie positive);

b. Les Vosges hercyniennes au sud (zone à anomalie négative); et paraît indiquer que la croûte gneisso-granitique sur le substratum basique est beaucoup moins épaisse dans les Vosges septentrionales que dans les Vosges méridionales. Ce fait est caractérisé par la grande anomalie de Sarrebourg-Saverne qui se prolonge jusqu'au pointement basaltique de Gundershoffen (à olivine et à augite, affleurant à travers les marnes et les schistes du Lias). Elle présente d'ailleurs en cet endroit la même allure que celle de Kaiserstuhl. Je crois avoir ainsi une preuve de l'hypothèse d'après laquelle les grandes anomalies magnétiques régionales sont bien dues aux entités géologiques éruptives et métamor-

phiques. Dès 1926, *Ch. Maurain*, à la suite de ses mesures magnétiques *absolues* en Alsace, arrivait à la conclusion suivante :

« La chaîne des Vosges a une influence magnétique qui se traduit dans l'ensemble par une dépression vers le sud des lignes d'égale inclinaison et d'égale composante horizontale. Cette anomalie paraît correspondre aux zones de roches éruptives qui existent dans la chaîne des Vosges depuis la vallée de Schirmek jusqu'à l'extrémité méridionale de la chaîne ».

Or, la zone d'anomalie négative de ΔZ révélée par ma carte des isanomaes au-dessus des Vosges hercyniennes, vient à l'appui à la conclusion de *M. Maurain* et montre bien un épaississement des couches sédimentaires ou gneisso-granitiques enfoncées dans le substratum basique dans cette partie de la chaîne des Vosges.

Comparaison de la balance Lloyd-Schmidt et du variomètre de Haalck sur la péridotite à amphibole du Col des Bagenelles.

Au col des Bagenelles, entre Sainte-Marie-aux-Mines et le Bonhomme, se trouve à 150 mètres à l'est de la route un affleurement de péridotite peu serpentinisée. C'est un massif ou un filon-couche intercalé dans les gneiss de cette région. Dans les échantillons, on trouve de petits grains disséminés de magnétite facilement séparables par un barreau aimanté après la pulvérisation de l'échantillon. La proportion de cette magnétite d'un pourcentage de 6,63 p. 100 d'après Weigand (*Die Serpentin der Vogesen : Tschermaks Miner. Mitteilungen*, 1875, p. 183) est assez importante.

J'ai exécuté (1) un double profil magnétique de ΔZ transversalement à ce massif au moyen de la balance de Lloyd-Schmidt (2) et du variomètre de Haalck. Mon but a été de comparer les résultats fournis par ces deux instruments sur une même structure minéralogique.

La susceptibilité magnétique de cette serpentine que j'ai mesurée sur plusieurs échantillons à la balance de Curie et de Chêneveau, était égale à $1100 \cdot 10^{-6}$. Les deux profils magnétiques

(1) Les 12 et 13 juin 1935.

(2) Balance magnétique Askania, n° 136109, modèle récent. Sortie de l'usine le 28 février 1935

(fig. 16) résumant les résultats de mes mesures au-dessus de ce massif fortement magnétique. Une même station (n° 480 de la carte générale des isanomales de ΔZ) raccorde ces mesures à celles relatives de toute l'Alsace.

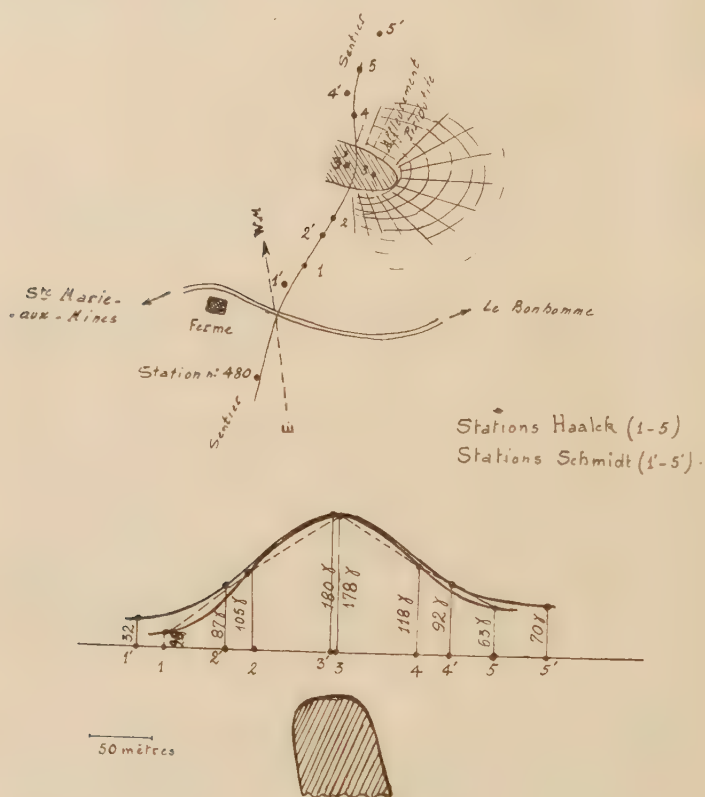


Fig. 16.

L'interprétation géologique sommaire indique l'existence d'un filon-couche presque vertical (car les profils magnétiques sont presque symétriques — 54) dont la largeur en profondeur ne dépasserait pas une cinquantaine de mètres car le maximum d'anomalie de Z est resserré et localisé sur lesdits profils.

La comparaison mutuelle des deux profils de ΔZ ainsi établis indique que :

1° Les résultats numériques obtenus successivement par le variomètre de Haalck et la balance de Lloyd-Schmidt sont entièrement concordants pour les fortes anomalies de ΔZ ;

2° Ils sont légèrement différents pour les faibles anomalies de ΔZ (de 20 à 30 gammas) pour lesquelles le variomètre de Haalck m'a donné des résultats numériques de 10 p. 100 environ plus faibles que ceux obtenus par la balance de Lloyd-Schmidt utilisée exactement dans les mêmes conditions physiques.

CHAPITRE IX.

ÉTUDE MAGNÉTIQUE RÉGIONALE DU VOLCANISME RÉCENT.

LE KAISERSTUHL.

Géologie sommaire. — Les premières considérations sur ce massif sont dues au géologue alsacien Dietrich en 1774 qui en a révélé l'origine volcanique. Son étude pétrographique détaillée est faite successivement par Graeff (47), Knop (71), Zotz (148) et par Soellner (125). La carte géologique que je reproduis (fig. 17) est due à ce dernier, en tenant compte cependant de tous les documents géologiques déjà existants.

Formé en grande partie par des coulées de néphéline présentant en général un caractère basaltique, la limburgite ne se rencontre qu'à la hauteur de Sasbach en trois petits affleurements. La cheminée elle-même est remplie partiellement en bordure, par des gabbros à fasciès basique, par une injection de formations tertiaires et par un dépôt de loess. Ces différentes formations cachent la nature géologique du remplissage.

D'après la carte topographique (pays de Bade : planches au 25.000, n° 96 Sasbach; n° 97 Endingen; n° 105 Breisach et n° 106 Eichstet), le Kaisertstuhl se présente sous forme grossière de deux masses prismatiques de crêtes sensiblement N. N. E.-S. S. W. Leur intervalle est rempli par du loess et par des calcaires du tertiaire partiellement métamorphisés. L'altitude de

ses sommets élevés varie de 400 à 556 mètres (Todtenkopf) à partir du niveau de la mer. On constate autour du massif principal la présence de quelques affleurements volcaniques isolés du même âge.

Esquisse géologique du Kaiserstuhl

d'après J. SOELLNER.



Fig. 17.

Mesures magnétiques et interprétation géologique.

Le réseau magnétique du Kaiserstuhl est exécuté par G. Meyer (91) en 1897-1899. On a mesuré l'intensité de la composante

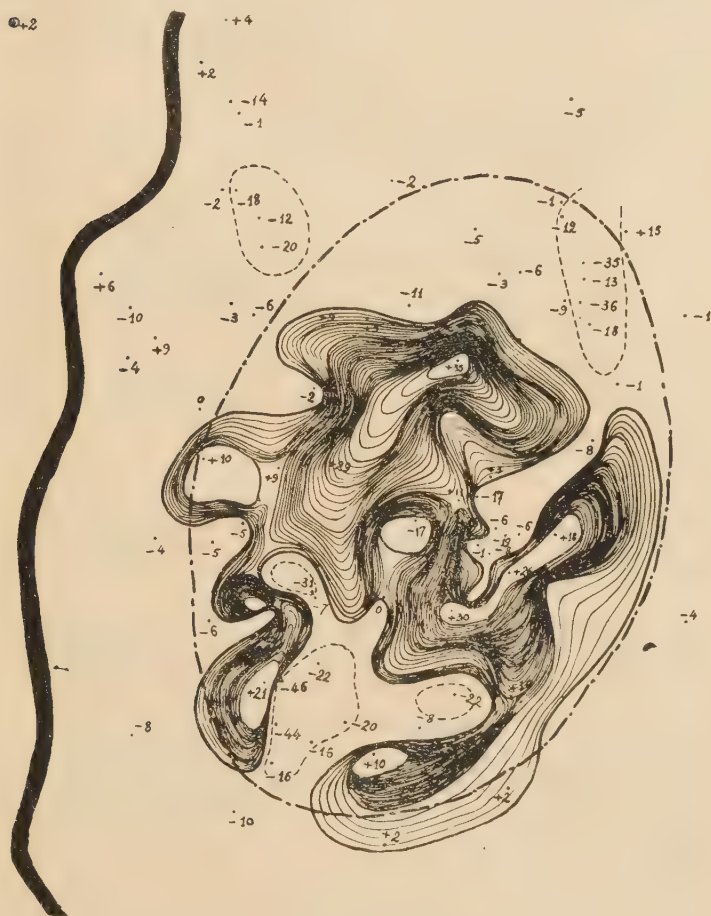


Fig. 18.

horizontale du champ magnétique terrestre au moyen de l'appareil de Kohlrausch; quant à la mesure de l'inclinaison de ce

champ, on lui a associé un inclinomètre (Deviationsmagnetometer). Le réseau de G. Meyer comporte 392 stations.

Meyer ne donne dans son mémoire que des valeurs brutes de ΔZ et ne s'arrête pas longtemps sur leur signification géologique éventuelle. J'ai donc repris les résultats numériques de Meyer et tracé les isanomales correspondantes de ΔZ (fig. 18). L'interprétation géologique des résultats des mesures en est alors largement facilitée, et outre les principales conclusions de Meyer qui se résument en :

1° Les anomalies magnétiques dans le Kaiserstuhl sont en partie dues à une aimantation permanente des roches;

2° Les indications sur les grands sommets basaltiques révélés en majeure partie comme des « pôles nord », ne paraissent pas être dues à l'induction du champ magnétique terrestre;

3° Il y a un parallélisme entre les propriétés minéralogiques et les propriétés magnétiques du massif;

4° On constate autour du massif de Kaiserstuhl des anomalies magnétiques au-dessus des formations sédimentaires, ce qui fait supposer une continuation souterraine probable de cette masse basaltique;

J'ai abouti à une corrélation frappante entre la carte géologique de Soellner (125) et la carte magnétique ainsi présentée sous forme des courbes d'anomalies de ΔZ . Ainsi, je trouve que :

1° Le contour d'affleurement volcanique du massif correspond avec netteté à l'isanomale zéro. On a bien un parallélisme entre la structure volcanique et le magnétisme des roches;

2° La cheminée du massif de Kaiserstuhl se comporte dans son ensemble comme un pôle négatif. Le contour géologique de cette cheminée, dessiné par Soellner, doit être corrigé légèrement vers l'ouest d'après la carte des isanomales. Elle doit passer par Vogtsburg et Schelingen, suivant le contact métamorphique du tertiaire;

3° Y a-t-il des cas de renversement du sens d'aimantation rémanente dans le massif de Kaiserstuhl? Ceci paraît être certain pour les sommets isolés, mais il ne s'agit que d'un phénomène local. Nous révélons ainsi l'existence de trois zones de renverse-

ment de sens d'aimantation correspondant à trois sommets élevés : Todtenkopf (556 m.), Hochbuck (377 m.), Achkarrener-Schlossberg (351 m.) et Useneburg (371 m.);

4° Il ne serait pas inadmissible d'après la carte des ΔZ pour que le massif de Kaiserstuhl ait une cheminée double en surface et une cheminée simple en profondeur. La carte géologique ne rejette nullement cette hypothèse;

5° Enfin, vue l'irrégularité des isanomales et les limites extrêmes de variation de ΔZ (de -3600 à $+3500$) sur de très faibles parcours, il paraît certain pour que les anomalies magnétiques du massif de Kaiserstuhl soient dues en grande partie à une aimantation rémanente forte et irrégulière de ce massif.

J'ai raccordé la carte des isanomales de Kaiserstuhl (mesures de G. Meyer) avec la mienne de la plaine d'Alsace par l'intermédiaire de la station commune (n° 279 de ma carte : planche I) comportant comme valeur $\Delta Z = +200 \gamma$ dans la première, et $\Delta Z = +50 \gamma$ dans la seconde.

RÉSUMÉ.

Le présent travail a pour but de chercher les rapports entre les anomalies de la composante verticale du champ magnétique terrestre et la géologie régionale en Alsace.

A cet effet, je résume d'abord l'évolution de l'hypothèse et de l'existence éventuelle de tels rapports. Je passe sommairement en revue les constatations faites dans ce domaine. J'insiste en particulier sur le caractère qualitatif des résultats obtenus par eux, puisque les interprétations géologiques ainsi fournies ne conduisent pas à la détermination exacte des dimensions et de la profondeur des structures tectoniques causant les anomalies magnétiques étudiées.

Je traite alors ce dernier problème pour l'Alsace. Mon interprétation géologique détaillée est basée sur les données de 506 stations magnétiques que j'ai exécutées au variomètre de Haalck. La grandeur mesurée est ΔZ en chacune de ces stations.

I. Je donne d'abord les valeurs numériques de la susceptibilité magnétique de la majorité des roches de l'Alsace. Je les ai déterminées à la balance de Curie et de Chèneveau. J'utilise ensuite ces mêmes valeurs pour le calcul analytique des structures.

II. Je discute l'emploi, la sensibilité, la précision... du variomètre Haalck. Je développe en détail les causes d'erreurs qui interviennent au cours des mesures de ΔZ , et j'expose les différents procédés que j'ai adoptés pour les éviter ou les réduire au minimum possible. Ainsi les erreurs provenant :

- 1° De la mauvaise orientation de l'instrument en azimut;
- 2° De la mauvaise verticalité de son axe de rotation;
- 3° De l'inclinaison de l'axe de rotation de l'instrument par rapport à son plateau (une erreur de l'ordre de $\xi = 2' 15''$ environ); ont été continuellement évitées par la moyenne de deux lectures à 180° vers l'est et vers l'ouest.
- 4° De l'influence de la température ambiante sur ses différents organes :
 - a. Dilatation des différentes parties de l'équipage magnétique :
 - 1° Effet sur la valeur de μ où je montre que la constante de la

température μ n'est régie que par le terme $Z \frac{\partial M_2}{\partial \mu}$, et reste relativement constante au cours de la variation de la température ambiante; 2° Effet sur la valeur de K qui atteint à peine 1 gamma dans les conditions les plus défavorables; c'est donc une erreur négligeable pour la pratique;

b. Influence de la température sur les aimants compensateurs P et K que j'ai évitée ou réduite au minimum par une simple modification de leurs supports.

Je donne dans le présent chapitre les résultats pratiques de mes étalonnages de l'instrument au laboratoire, sur le terrain et à la station magnétique du Val Joyeux, ainsi que toutes mes observations qui s'y rattachent.

III. Je traite ensuite ma méthode de travail sur le terrain lors de l'exécution de mes mesures, les difficultés rencontrées et les procédés adoptés pour l'établissement et le tracé définitif de mes cartes. Des tableaux détaillés résument la valeur de ΔZ trouvée en 506 stations.

IV. Indépendamment de plusieurs auteurs, je traite dans ce chapitre l'aimantation de plusieurs surfaces du second degré pour en déduire des applications directes à la géologie régionale de l'Alsace.

V. J'en déduis les conclusions suivantes :

a. La courbure d'un profil nord-sud de ΔZ présente la même allure que celle de la surface perturbatrice suivant la même direction;

b. L'anomalie ΔZ est d'autant plus étalée ou localisée, suivant que la surface perturbatrice envisagée à la même profondeur, est d'autant plus aplatie ou allongée;

c. Sur des structures de courbures différentes, on trouve fréquemment des profils de ΔZ , qui sont pratiquement semblables, sauf dans le cas où la susceptibilité magnétique des formations est suffisamment élevée (de 10^{-2} à 10^{-3}). Ce fait complique beaucoup les interprétations de détail;

d. Le profil ΔZ relatif à une même structure, placée à des profondeurs différentes, est d'autant plus atténué et plus étalé que la profondeur est plus élevée;

e. Pour une même valeur numérique de ΔZ donnée, une structure relativement superficielle conduit à un profil magnétique sur lequel ΔZ est nettement localisée. Par contre, sur le profil magnétique d'une structure profonde, la même valeur de ΔZ s'étale sur une distance de plus en plus élevée.

VI. Avant de passer à l'étude critique des méthodes de calcul des structures élaborées par certains auteurs, j'insiste sur la difficulté d'application d'une interprétation magnétique et sur la raison de choix de la mesure de ΔZ .

Afin de vérifier l'exactitude des procédés de calcul de Thalén, de Tiberg, de Haanel, de Nippoldt et de Koenigsberger, je les applique d'abord aux structures géométriques relativement simples (Ellipsoïdes, sphères, cylindres, couches...), et je constate que certains d'entre eux ne sont applicables que :

1° Quand je modifie la forme des formules proposées par leurs auteurs respectifs ;

2° Ou seulement à une certaine catégorie de structures, si je garde inchangée la forme classique proposée par eux. J'arrive ainsi à la conclusion suivante :

a. Pour les structures *aplaties* :

La règle de Haanel *modifiée* ;

La règle de Tiberg *modifiée* ;

Et la règle de Koenigsberger sont seules applicables.

b. On n'obtient des valeurs comparables par l'application des règles originales que pour des structures à courbure *moyenne*.

c. Par contre pour les structures *allongées*, seules la règle de Thalén *modifiée* et la règle de Koenigsberger conduisent à des résultats exacts.

De toutes ces applications, je déduis également les règles pratiques suivantes :

1° Si les isanomales sont *serrées* et *irrégulières*, les masses perturbatrices sont très magnétiques, disséminées et de faible profondeur ;

2° Si les isanomales sont *serrées* mais *régulières*, les masses perturbatrices sont très magnétiques, continues et de faible profondeur ;

3° Si les isanomales sont *espacées* et *irrégulières*, la cause des anomalies est discontinue et profonde;

4° Si les isanomales sont *espacées* mais *régulières*, la cause perturbatrice est toujours profonde, mais elle est due à une structure continue. A ΔZ donnée, une zone d'anomalies étalées correspond à une cause perturbatrice plus étendue.

Ma méthode d'interprétation consiste à porter l'attention, le long d'un profil nord-sud, sur l'emplacement :

a. De ΔZ_{max} pour localiser la projection approchée du centre de la structure perturbatrice sur le terrain;

b. De $(\Delta Z_{min})_n$ et de $(\Delta Z_{min})_s$ pour déterminer les limites d'extension de cette structure vers le nord et vers le sud;

c. De $\Delta Z = 0$ pour déterminer la profondeur approximative du centre de la masse perturbatrice;

d. Sur la valeur de $(\Delta Z_{min})_n - (\Delta Z_{min})_s$ pour en déduire l'ordre de grandeur de χ .

VIII. L'interprétation géologique de la carte des isanomales de la Plaine d'Alsace (voir pl. II) fait apparaître les faits nouveaux suivants :

1° La continuité parfaite des courbes d'anomalies. En effet, sur plus de 506 stations de mesure, on en trouve à peine une ou deux (comme la station n° 137), isolées, qui produisent une perturbation dans la continuité des isanomales. Cependant, ces mesures ont été effectuées à des dates et dans des conditions physiques tout à fait différentes;

2° Une direction constante S. S. W.-N. N. E. correspondant à celle des plis hercyniens et qui se poursuit des Vosges vers la Forêt Noire;

3° Au nord de la Plaine, la grande anomalie positive de Saverne-Sarrebourg vient se raccorder avec celle de Gundershoffen où se fait jour un affleurement basaltique du tertiaire. J'apporte ainsi une confirmation à cette hypothèse émise par les géophysiciens qui admettent que les grandes anomalies magnétiques de la croûte terrestre sont dues à une manifestation d'un fonds basique.

Je constate également dans cette partie de la carte que le bassin pétrolifère de Pechelbronn se trouve entièrement dans une zone d'anomalies négatives. En effet, cette dernière délimite très exactement la zone d'exploitation actuelle par sondages. Des sondages S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , exécutés en dehors de la concession de Pechelbronn, ont montré effectivement la distinction des deux zones I et II (fig. 13).

La plupart (90 p. 100) des champs pétrolifères du monde se trouve dans des zones d'anomalies négatives; on constate donc que la zone pétrolifère de Pechelbronn n'échappe pas à cette règle générale.

Pour bien marquer l'origine réelle et régionale de cette anomalie, j'ai constaté que :

1° La perturbation magnétique apportée par le matériel d'exploitation présente surtout un caractère localisé;

2° L'effet magnétique maximum de ce matériel se produit à sa proximité immédiate;

3° Il disparaît à une distance radiale de 75 à 100 mètres.

A. — Région s'étendant entre 49° et 48°40' de latitude.

4° Je déduis analytiquement l'existence d'une grande fracture entre la zone I et III (fig. 14). Elle est légèrement inclinée vers l'ouest et située sensiblement à 1.000 mètres à l'ouest de l'isanomale zéro, en passant par Altorf. Son rejet varie de 4.000 à 4.500 mètres. Comme la valeur du rejet habituellement admise pour la grande faille rhénane est de l'ordre de 3.000 mètres, nous trouvons ici la raison pour laquelle elle n'affecte nullement la disposition des isanomales magnétiques.

B. — Région s'étendant entre 48°40' et 48°10' de latitude.

5° J'y révèle l'emplacement d'un pli de fonds dans une direction S. W.-N. E., reliant à travers le fossé rhénan, le seuil morvano-vosgien à la Forêt Noire. On ne connaissait jusqu'à maintenant que les deux prolongements de ce pli, respectivement dans les Vosges et la Forêt Noire. La profondeur de son centre serait de 5 à 6 kilomètres à partir de la surface du sol. Sa susceptibilité magnétique est de l'ordre de $1000 \cdot 10^{-6}$. L'extension de sa section verticale

dans la direction N.-S. est environ 8 kilomètres. Quant à son aplatissement, il varie de un demi à un tiers.

C. — Région s'étendant entre 48°10' et 47°45' de latitude.

6° J'y révèle l'existence d'une forte perturbation magnétique de forme circulaire apportée par la présence du massif basaltique de Kaiserstuhl à la direction des plis hercyniens. Je calcule également dans cette partie de la carte, la profondeur et la forme des venues basaltiques sous la couverture des sédiments du fossé rhénan. A cette occasion, je démontre la concordance remarquable qui existe entre les données magnétiques et les données gravimétriques au-dessus de ces massifs.

Dans le sud de la plaine d'Alsace, la direction hercynienne réapparaît. Un fort maximum positif orienté suivant cette direction marque la limite S.-E. du bassin potassique.

VIII. Je constate une distinction magnétique nette entre les Vosges gréseuses au nord et les Vosges hercyniennes au sud. Je donne l'interprétation géologique qui découle de cette différence. En outre, ayant effectué le même profil magnétique, respectivement à la balance de Lloyd-Schmidt et au variomètre de Haalck, sur le massif de péridotite à amphibole du col des Bagenelles (Vosges), je constate que :

1° Les résultats numériques obtenus par ces deux sortes d'instruments sont concordants pour les fortes anomalies de Z :

2° Ils sont légèrement différents pour les faibles anomalies de Z (de 20 à 30 gammas) pour lesquelles le variomètre de Haalck conduit à des résultats de 10 p. 100 environ plus faibles.

IX. Je constate que le contour de l'affleurement volcanique du massif basaltique de Kaiserstuhl correspond avec netteté au tracé de l'isomale zéro. La cheminée de ce massif se comporte dans son ensemble comme un pôle négatif.

Enfin, il me paraît très probable qu'il existe une cheminée double en surface, et une cheminée simple en profondeur. D'autre part, vue l'irrégularité des anomalies magnétiques de ce massif, je les attribue en grande partie à une aimantation rémanente.

DEUXIÈME THÈSE.

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

HISTOIRE ET STRUCTURE DU FOSSÉ RHÉMAN
ENTRE BÂLE ET MAYENCE.

VU ET APPROUVE :

Paris, le 30 septembre 1936.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

CH. MAURAIN.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

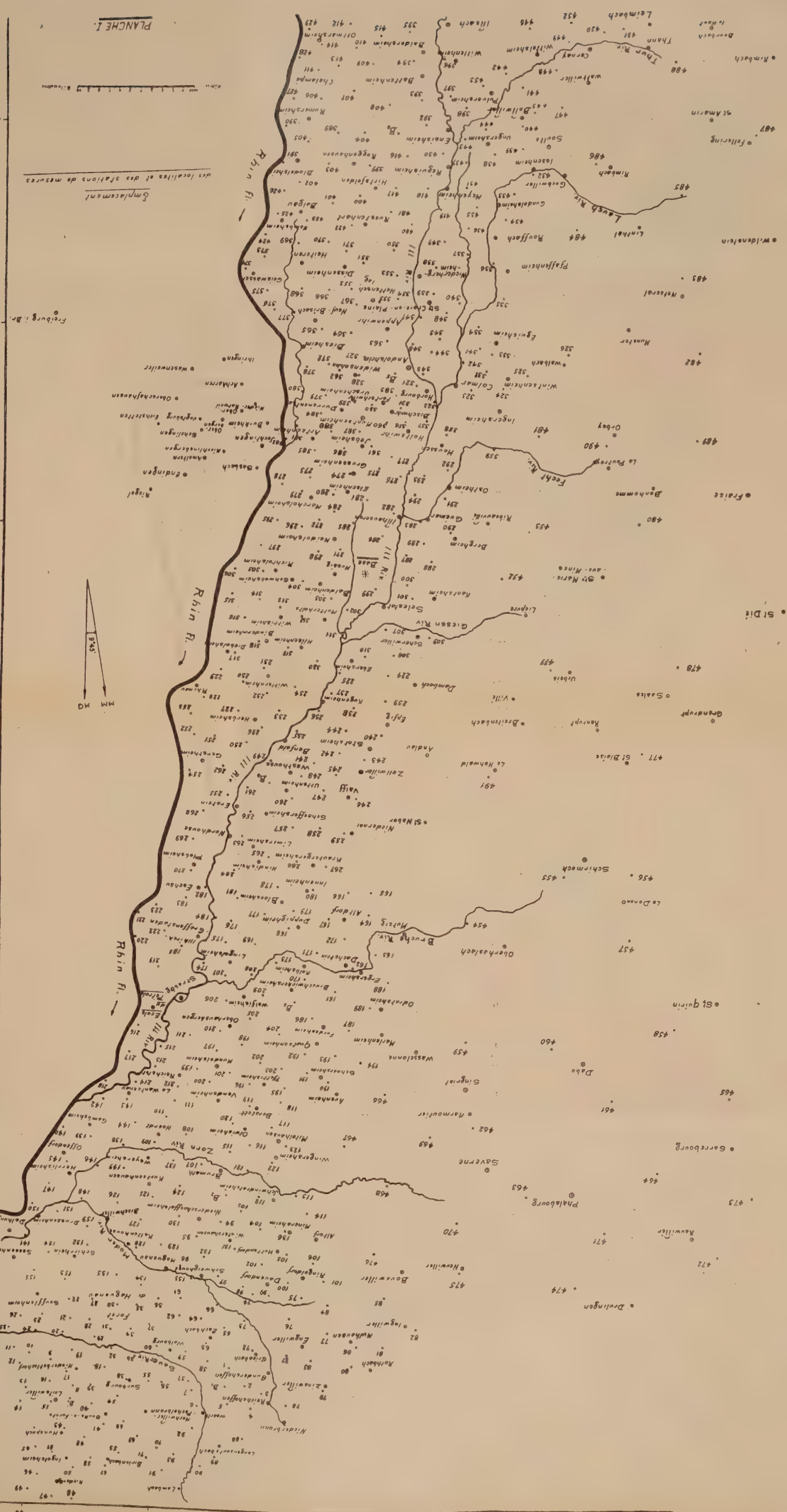
S. CHARLÉTY.

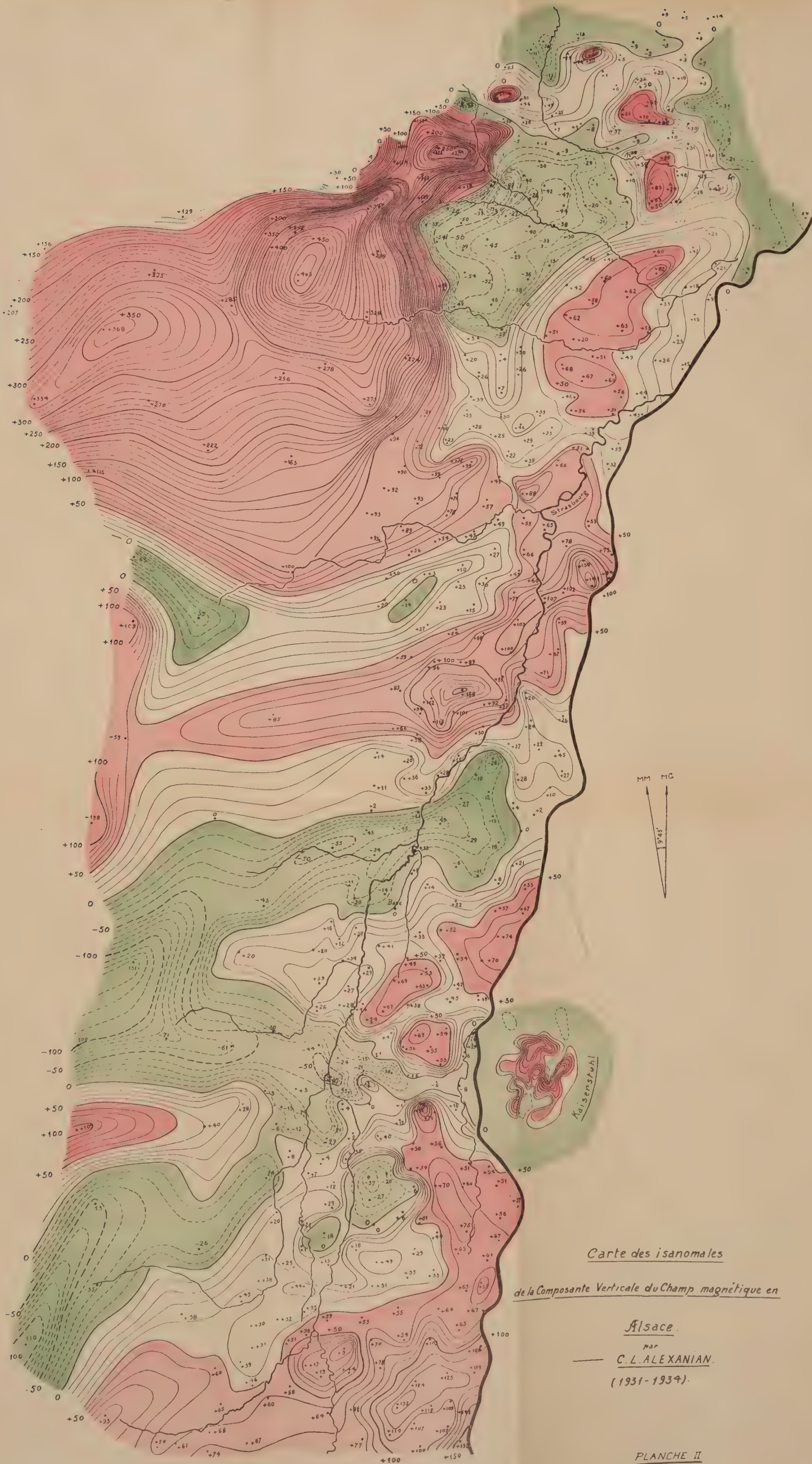
PLANCHE I.

des localités et des stations de mesures
Géométriques

1:100,000

MM. MD.



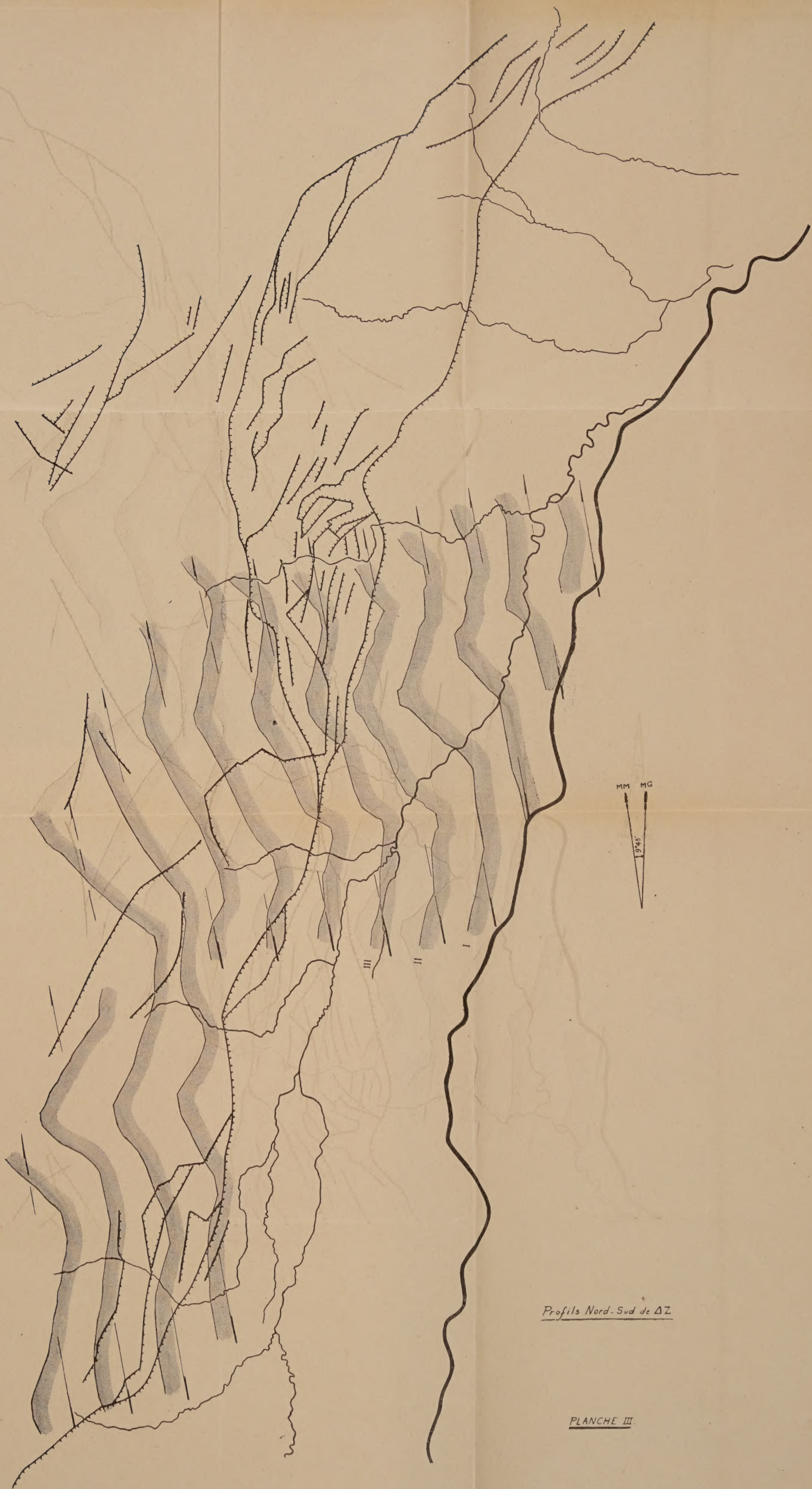


Carte des isanomales
de la Composante Verticale du Champ magnétique en

Alsace.

par
C.L. ALEXANIAN.
(1931-1934).

PLANCHE II



Profils Nord-Sud de ΔZ

PLANCHE III.

STRE DE PARIS — FACULTE DES SCIENCES

THÈSES

UNIVERSITÉS

A FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PAR

LE DOCTEUR EN SCIENCES

ET

PAR M. J. J. J. J.

PRÉSENTÉES À LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PAR M. J. J. J. J.

ET M. J. J. J. J.

PAR M. J. J. J. J.

